

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Машиностроение»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.И. Демченко

« ____ » _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.01. - «Машиностроение»

Исследование схемы напряженно-деформированного состояния при
прессовании труб из алюминиевых сплавов для проектирования оснастки на
ООО «КраМЗ»

Пояснительная записка

Руководитель

подпись, дата

должность, ученая степень

С.В. Мишнев

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

П.А. Силютин

инициалы, фамилия

Консультант:

Организационно-
экономический
раздел

подпись, дата

должность, ученая степень

А.И. Демченко

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

должность, ученая степень

С.Л. Бусыгин

инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Машиностроение»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.И. Демченко
« ____ » _____ 2017г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
В ФОРМЕ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студенту Силютин П.А.

Группа МТ 13-02Б Направление (специальность) 15.03.01 - «Машиностроение»

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование схемы напряженно-деформированного состояния при прессовании труб из алюминиевых сплавов для проектирования технологической оснастки на ООО «КраМЗ»»

Утверждена приказом по университету № 208/с от 10.01.2017
Руководитель ВКР: С.В. Мишнев, ПИ СФУ, Старший преподаватель
(инициалы, фамилия, место работы и должность)

Исходные данные для ВКР: 1. Чертеж изделия; 2. Программа выпуска;
3. Технические условия на изготовление

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

1. Теоретическая часть
2. Технологическая часть
3. Организационно-экономический раздел

Перечень графического материала с указанием основных чертежей, плакатов:

1. Цель и задачи работы (А1);
2. Напряженное состояние в общем виде (А1);
3. Деформированное состояние в общем виде (А1);
4. Физическая схема НДС при прямом прессовании труб (А1);
5. Общая схема основных геометрических параметров для расчета усилия прессования (А1);
6. Схема искажения координатной сетки при различных условиях прессования (А1);
7. Техничко-экономические показатели (А1).

Консультанты по разделам

Наименование раздела ВКР	Инициалы, фамилия преподавателя-консультанта по разделу
Организационно-экономический раздел	А.И. Демченко

					БР – 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Пояснительная записка			Лит.	Лист	Листов	
Разраб.	Силютин П.А.									2	141
Провер.	Мишнев С.В.										
Консульт.								СФУ МТ 13-02 Б			
Н. контр.	Бусыгин С.Л.										
Зав. каф.	Демченко А.И.										

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения этапов ВКР

№ этапа	Срок	Текстовая часть	Графическая часть
1	с 09.05.2017	ТЧП - 40 %	лист № 1
	по 15.05.2017		лист № 2
2	с 16.05.2017	ТЧП – 50 %	лист № 2
	по 15.06.2017		лист № 3
			лист № 4
			лист № 5
			лист № 6
3	с 15.06.2017	ОЭЧ – 100 %	лист № 7
	по 23.06.2017	ТЧП – 10 %	
Всего	на 23.06.2017	100% по разделам	100%

ТЧП – технологическая часть

КЧП – конструкторская часть

ОЭЧ – организационно-экономическая часть

Руководитель выпускной
квалификационной работы

С.В. Мишнев

(подпись, дата)

Задание принял к исполнению

П.А. Силютин

(подпись, дата)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
------	------	----------	---------	-----

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Лис

3

Перв. примен.	РЕФЕРАТ															
	<p>Бакалаврская работа по теме «Исследование схемы напряженно-деформированного состояния при прессовании труб из алюминиевых сплавов для проектирования оснастки на ООО «КраМЗ» содержит 141 страниц текстового документа, 1 приложение, 39 использованных источников, 7 листов графического материала.</p> <p>Задачи бакалаврской работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - провести анализ предметной области, что даст возможность успешно приступить к последующим стадиям работы; - дать общие понятия о напряженном состоянии; - дать общие понятия о деформированном состоянии; - исследовать напряженно-деформированное состояние при прямом прессовании труб; - исследовать параметры влияющие на напряженно-деформированное состояние металла при прямом прессовании. <p>Актуальность выпускной квалификационной работы обусловлена фактором научно-технического прогресса, в результате которого происходит процесс модернизации и обновления выпускаемой продукции, развиваются формы организации производства, совершенствуются технология и управление производством.</p> <p>В результате проведения исследования выявлено, что влияние напряжений и деформаций сказывается на пресс-остатке, оптимизировав технологические параметры мы сможем уменьшить его, а также увеличить выход годного без потери качества.</p>															
Справа. №																
Подпись и дата																
Име. № дубл.																
Взам. име. №																
Подпись и дата																
Име. № подл.																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> </div> <div> <p>БР – 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <table border="1"> <tr> <td>Лис</td> </tr> <tr> <td>4</td> </tr> </table> </div> </div>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат						Лис	4
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат												
Лис																
4																

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Общие сведения о компании ООО «КраМЗ»	8
1.1 История предприятия.....	8
1.2 Структура производства	12
1.2.1 Прессовый цех	12
1.2.2 Трубо-прессовый цех.....	12
1.2.3 Кузнечно-прессовый цех	13
1.3 Виды товарной продукции	13
1.4 Экспорт продукции ООО «КраМЗ»	14
1.5 Оборудование.....	15
2 Теоретическая часть	16
2.1 Общие положения геометрической кристаллографии.....	17
2.1.1 Понятие о пространственной решетке.....	17
2.1.2 Понятие об элементарной ячейке	18
2.2 Системы координат.....	19
2.2.1 Классификация систем координат	19
2.2.2 Декартова прямоугольная система координат.	20
2.2.3 Полярные системы координат.....	22
2.2.4 Цилиндрические системы координат.	23
2.2.5 Сферические системы координат.	25
2.3 Сведения о физической кристаллографии.....	27
2.3.1 Общие понятия.....	27
2.3.2 Тензор второго ранга	27
2.3.3 Преобразование осей координат	28
2.3.4 Преобразование компонент вектора.	30
2.3.5 Преобразование компонент тензора второго ранга.	31
2.4 Тензор напряжений 2-го ранга	32
2.5 Тензор деформации.....	37
3 Технологическая часть. Параметры, влияющие на эффективность технологии прессования профилей	44
3.1 Основы процесса прессования	44
3.1.1 Этапы развития технологии прессования.....	44
3.1.2 Основы процесса прессования, его достоинства и недостатки	45
3.2 Типовые схемы прессования труб	47
3.2.1 Прямое прессование	48
3.2.2 Обратное прессование	50
3.3 Теоретические основы технологии прессования	51

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Лис

5

Перв. примен.	3.4	Течение металла при прессовании.....	52			
	3.5	Течения металла при прямом прессовании прутка через одноканальную матрицу	53			
	3.6	Течения металла на начальной стадии.....	54			
	3.7	Течения металла на основной стадии	56			
	3.8	Течения металла на заключительной стадии.....	63			
	3.9	Влияние параметров прессования на характер течения при прямом прессовании через одноканальную матрицу	67			
	3.10	Течение металла при прямом прессовании труб и полых профилей через плоские матрицы	81			
	3.11	Определение геометрии пластической зоны, длительности и скорости деформации.....	91			
	3.12	Напряженно-деформированное состояние металла при прессовании	99			
	3.13	Сопротивление деформации металлов и сплавов при прессовании .	103			
Справ. №	3.14	Определение условий прессования и выбор смазки	114			
	4	Экономическая часть.....	127			
	4.1	Технико-экономическое обоснование проекта	127			
	4.2	Определение сметной стоимости научно-исследовательской работы	127			
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ		132			
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ		133			
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		134			
	ПРИЛОЖЕНИЕ А		138			
	Подпись и дата					
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						6

Перв. примен.	ВВЕДЕНИЕ													
	<p>В современном производстве труб из алюминиевых сплавов широкое применение нашёл способ горячего прессования полых слитков на игле, позволяющий получать трубы широкой номенклатуры, в том числе из трудно деформируемых сплавов, не подлежащих обработке другими способами. Эффективность этих процессов в значительной степени зависит от условий контактного трения, возникающего при взаимодействии прессуемого металла с инструментом и контейнером, которые оказывают существенное влияние на необходимое усилие прессования и качество пресс изделия.</p> <p>Поэтому, в последнее время становятся весьма актуальными задачи совершенствования процессов прессования труб из алюминиевых сплавов путем уменьшения вредного действия сил трения за счёт повышения эффективности применения технологических смазок, использование которых является необходимым условием для нормального протекания процесса.</p> <p>При этом особое внимание уделяется условиям взаимодействия прессующего металла с иглой, так как условия трения по игле отражаются на качестве внутренней поверхности трубы, дефекты которой невозможно устранить традиционными методами обработки. Зачастую именно трение на игле является параметром, определяющим возможность получения изделий методом прессования. Применяются так же способы прессования со смазкой контейнера и матрицы.</p> <p>В настоящее время развитие процессов горячего прессования труб из алюминиевых сплавов сдерживается отсутствием эффективных технологических смазок, отвечающих требованиям экологии.</p> <p>В связи с этим, внедрение в прессовое производство новых технологических смазок и повышение эффективности их применения, а также разработка методов исследования их свойств является актуальной задачей.</p> <p>Настоящая работа посвящена исследованию эффективности разных технологических смазок в процессах обработки металлов давлением,</p>													
Справ. №														
Подпись и дата														
Инв. № дубл.														
Взам. инв. №														
Подпись и дата														
Инв. № подл.														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> </div> <div> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> <p>7</p> </div> </div>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат					
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат										

Перв. примен.	разработки и внедрения механизированных устройств для нанесение технологических смазок на иглу.														
	<p>Для получения профилей, панелей и труб из алюминиевых сплавов наиболее часто применяют прессование (выдавливание). Это объясняется: 1) мелкосерийностью производства, требующей частой смены инструмента, что довольно просто осуществляется при прессовании; 2) необходимостью повышения точности размеров пресс-изделий; 3) сравнительно низкой вязкостью многих сплавов при повышенных температурах, требующей применения процесса, напряженное состояние деформационной зоны которого уменьшает возможность возникновения больших растягивающих напряжений; 4) сложностью конфигурации поперечных сечений. Последние два фактора часто делают прессование единственным деформационным процессом, который позволяет получить изделие заданной формы.</p>														
Справ. №															
<p align="center">1 Общие сведения о компании ООО «КраМЗ»</p> <p>Данная работа проходила по итогу производственной практики на Красноярском металлургическом заводе. Прошло ознакомление с производством и с общей технологией прессования труб из алюминиевых сплавов. Технологический процесс и основные этапы производства.</p> <p align="center">1.1 История предприятия</p> <p>История КраМЗа начинается со второй половины прошлого столетия после постановки руководством страны задачи комплексного развития Сибири и Дальнего Востока. В марте 1966 г. вышел приказ Министерства авиационной промышленности СССР о строительстве красноярского завода по производству алюминиевого проката в системе Министерства авиационной промышленности. Красноярский металлургический завод должен был удвоить мощности, существовавшие в стране, по производству алюминиевого проката.</p>															
Подпись и дата															
Име. № дубл.															
Взам. име. №															
Подпись и дата															
Име. № подл.															
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат						<p align="center">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат											
					Лис										
					8										

Перв. примен.	<p>Стояла задача удовлетворить все растущие потребности заводов авиационной, судостроительной и других отраслей промышленности, важных для развития экономики и укрепления государственной безопасности страны. Строительство металлургических комплексов в Сибири было продиктовано растущим спросом на продукцию со стороны авиационных предприятий, среднего и общего машиностроения, расположенных в районах Дальнего Востока и Средней Азии.</p>				
	Справ. №	<p>В январе 1967 г. был вырыт первый кубометр земли под фундамент первого цеха — литейного. Спустя два года была произведена первая плавка алюминия. Завод вступил в строй действующих.</p>			
Подпись и дата		Изм. № дубл.	Взам. инв. №	<p>В 1973 г. был введен в промышленную эксплуатацию прессовый цех. Впервые в Сибири было создано уникальное производство профилей и прутков из алюминия и его сплавов. Спустя два года начал производство продукции трубопрессовый цех. С 1974 по 1977 г. в этих цехах введено в действие более двадцати прессов и около сотни единиц вспомогательного оборудования, освоено более тысячи наименований профилей, прутков и труб.</p>	
	<p>В 1976 г. на КраМЗе была разработана и внедрена в эксплуатацию индукционная печь емкостью 25 т. Позднее на базе новой печи и вакуумного миксера был построен агрегат для приготовления специальных сплавов авиационного назначения, не имеющий аналогов в мировой практике.</p>				
Подпись и дата	Изм. № дубл.	Взам. инв. №	<p>С 1979 по 1985 г. на заводе введены в действие участок производства холоднодеформированных труб, 11 горизонтальных прессов и 5 мощных вертикальных штамповочных прессов, создан участок для производства особо тонких труб для автомобильных радиаторов. В 1986 г. начал работу второй литейный цех.</p>		
			<p>С 1993 г. на КраМЗе успешно реализуется широкомасштабная программа освоения прессованной и литой продукции на экспорт в Западную Европу, США, Южную Корею и многие другие страны.</p>		
Изм. № подл.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	<p>Первую плавку алюминия на Красноярском металлургическом заводе произвели в 1969 г.</p>
					<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>
<p>Изм. Лис № докум. Подпись Дат</p>					<p>Лис</p>
					<p>9</p>

Перв. примен.	<p>Продукция завода поставляется как на внутрироссийский рынок, так и на экспорт — в страны Евросоюза, США, Южную Корею, Израиль, Турцию, Австралию и другие страны мирового сообщества. Изделия завода сертифицированы по международной системе качества ISO 9001, предприятие готовится получить международный экологический сертификат ISO 14001.</p>				
	Справ. №	<p>Завод использует жидкий алюминий, поставляемый Красноярским алюминиевым заводом, который находится в одной промышленной зоне с КраМЗом. Основные производства — плавильное, прессовое. Плавильное производство располагает современным оборудованием для производства продукции из алюминиевых деформируемых сплавов. Его мощность составляет 170 тыс. т литейной продукции в год.</p>			
		<p>Завод производит литые прутки из алюминиевых сплавов для строительных профилей, кабельной продукции и труб для тепловых агрегатов холодильной техники; катанки из алюминия технической и высокой чистоты электротехнического назначения; заготовки из алюминиевых деформируемых сплавов для производства всего спектра прессовой и кузнечно-прессовой продукции, в том числе для авиакосмической техники и машиностроения.</p>			
	Подпись и дата	<p>Прессовое производство завода — самое крупное и самое молодое в России по изготовлению профилей, труб и прутков из алюминиевых сплавов. В его состав входят цеха: прессовые, трубопрессовый и кузнечно-прессовый. Прессовые цеха производят профили и прутки из труднодеформируемых сплавов для авиации, судостроения, машиностроения; архитектурные профили и профили общетехнического назначения; профили, окрашенные порошковыми красками; трубы для теплообменных аппаратов нефте- и газовой промышленности.</p>			
Инв. № дубл.	<p>Трубопрессовый цех производит трубы бесшовные холоднодеформированные и прессованные для специального машиностроения; трубы для автомобильных радиаторов, отопителей и бытовых холодильников; заготовки и сварочную проволоку; калиброванные прутки на экспорт.</p>				
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
					Лис
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					10
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.	<p>Мощность трубопрессового и прессовых цехов составляет 51 839 т продукции в год.</p> <p>Кузнечно-прессовый занимается производством штамповок и поковок для авиакосмической техники и машиностроения; штампованных автомобильных и мотоциклетных колес; комплектами листов для электролизеров (катодные спуски) и лентами. Мощность — 6 260 т в год.</p>														
	Справ. №	<p>Прессовое производство КраМЗа — самое крупное и самое молодое в России по изготовлению профилей, труб и прутков из алюминиевых сплавов.</p> <p>В 2011 г. на КраМЗе пустили в эксплуатацию современный прессовый комплекс. Его производительность в два-три раза выше, чем у имеющихся на заводе прессов. Ввод в эксплуатацию прессы позволил предприятию расширить номенклатуру продукции, значительно увеличить объемы производства, уменьшить вес строительных систем, повысить качество и точность профилей, снизить издержки. В 2012 г. на участке покраски профилей была запущена новая линия порошковой окраски профилей, что позволило КраМЗу начать производство цветных профилей.</p>													
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<p>С 2013 г. на КраМЗе возобновили проект «Прокатный комплекс», восстановление которого будет проходить в несколько этапов. На первом этапе планируется начать выпуск авиационных плит и компонентов для аэрокосмической промышленности в объеме 60 тыс. т в год. В дальнейшем будут рассмотрены возможности расширения мощностей прокатного комплекса до 250 тыс. т в год и организации выпуска алюминиевых листов, баночной ленты и другой продукции. Срок реализации первого этапа составит три года с момента принятия решения. Проект создаст более 150 новых рабочих мест, а его запуск увеличит энергопотребление КраМЗ на 50 МВт, поставщиком которых выступит ОАО «Иркутскэнерго».</p>									
	<p>Возобновление работы прокатного комплекса на КраМЗе является частью Ангаро-Енисейского кластера — комплексного проекта развития территорий Нижнего Приангарья.</p>														
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат						<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат											
					<p>Лис</p> <p>11</p>										

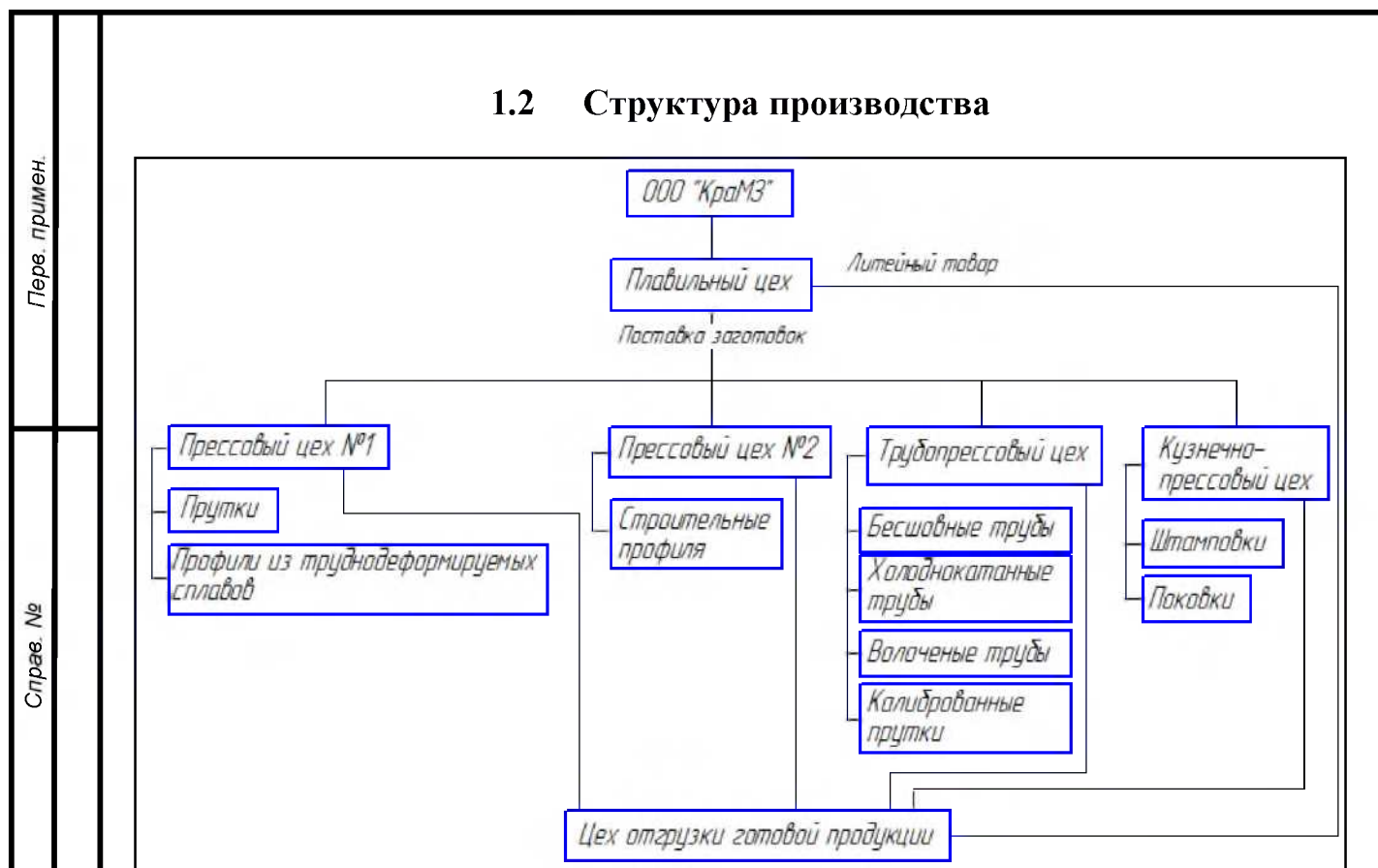


Рисунок 1.1 - Структура производства

Подпись и дата	<div>1.2.1 Прессовый цех</div> <ul style="list-style-type: none">Профили из труднодеформируемых сплавов для авиации, судостроения, транспортного машиностроения.Архитектурные профили и профили общетехнического назначенияТрубы для калориферовПрутки на экспорт диаметром до 250 мм.					
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №	<div>1.2.2 Трубо-прессовый цех</div> <ul style="list-style-type: none">Трубы бесшовные холоднодеформированные и прессованные для специального машиностроенияТрубы для автомобильных радиаторов, отопителей и бытовых холодильниковЗаготовка и сварочная проволокаКалиброванные прутки на экспорт диаметром 8-55мм.					
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		12

Перв. примен.	<h3>1.2.3 Кузнечно-прессовый цех</h3> <ul style="list-style-type: none"> Штамповки и поковки для авиакосмической техники и машиностроения Штампованные автомобильные колёса размером от 13 до 18 дюймов Штампованные мото-колёса дюймом от 16 до 17 Комплекты листов для электролизёров (катодные спуски). 					
	Справ. №	<h3>1.3 Виды товарной продукции</h3> <p>На предприятии ООО «КраМЗ» производятся следующие виды товарной продукции:</p> <ul style="list-style-type: none"> Плавильно-литейное производство: <ul style="list-style-type: none"> слитки цилиндрические, сплошные и полые, плоские; катанка алюминиевая в бухтах. Кузнечное производство: <ul style="list-style-type: none"> поковки; штамповки; колеса. Прессовое производство: <ul style="list-style-type: none"> прутки; трубы; профили. 				
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>
Изм.	Лис					

1.4 Экспорт продукции ООО «КраМЗ»



Рисунок 1.2 - Схема каналов распределения экспортной продукции КраМЗ.

Анализ системы распределения продукции показал, что вся продукция завода реализуется через торговый дом «Русский алюминиевый прокат». На внутреннем рынке торговый дом в основном работает напрямую с потребителями.

Канал распределения экспортной продукции представляет собой трехуровневую систему. С первого взгляда может показаться, что данная схема абсолютно не оптимально, но, принимая к учету, что два из трех посредников – звенья одной цепи («Русского алюминия»), их действия хорошо скоординированные и направлены на решения общей задачи.

Использование услуг металлоторговых компаний объясняется их крупными заказами.

Основной продукцией, поставляемой на международные рынки, являются литые и калиброванные прутки, полосы, профили и трубы.

Перв. примен.	
Справ. №	

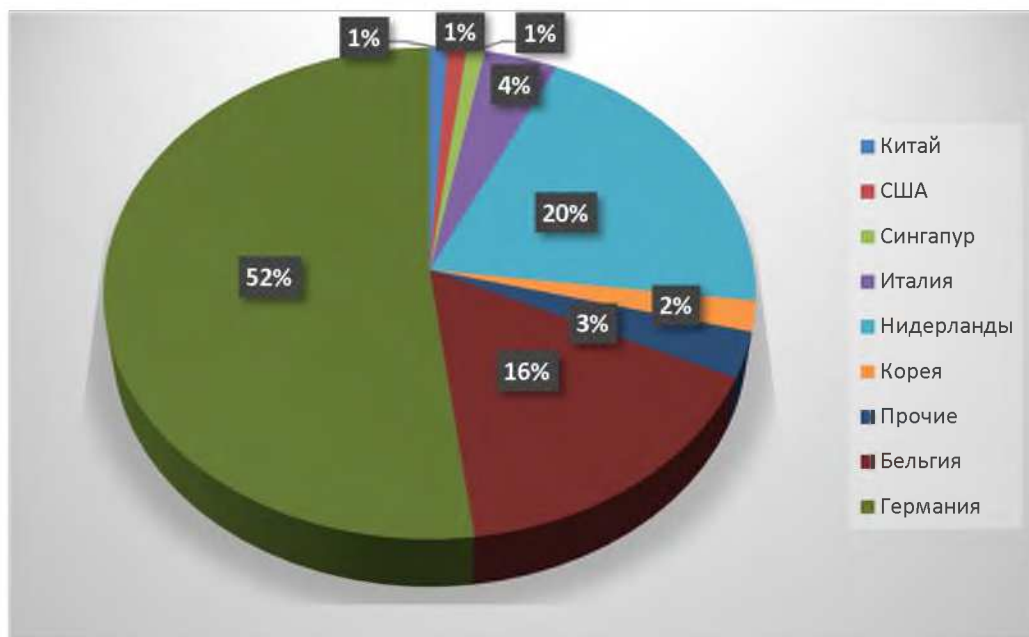


Диаграмма 1 - Географическое распределение экспорта продукции КраМЗ

1.5 Оборудование.

Для прессования труб используют гидравлические прессы усилием 1600 тс и 3500 тс:

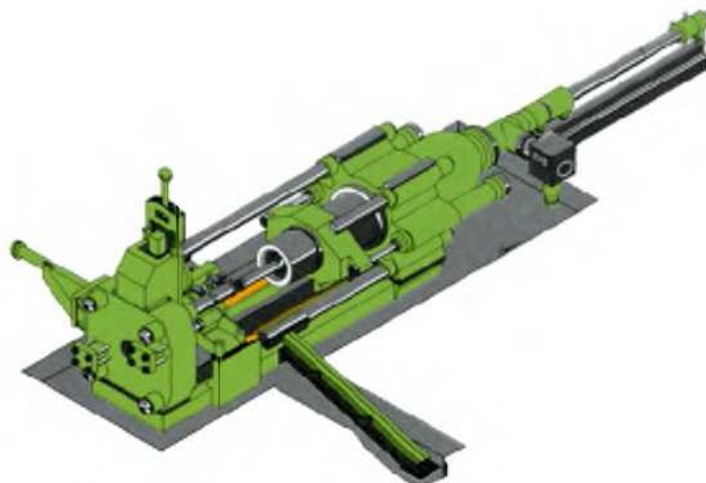


Рисунок 1.3 - Пресс усилием 1600 тс

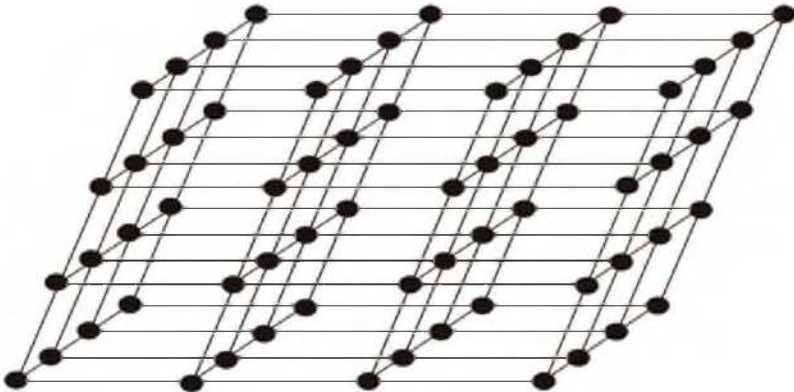
Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">2 Теоретическая часть</h2> <p>Интерес к отступлениям от правильного внутреннего строения кристаллов, к разного рода дефектам кристаллической структуры, которые оказывают решающее влияние на прочность, пластичность, многие физические свойства и разнообразные процессы структурных изменений в материалах, стал быстро возрастать, начиная с середины тридцатых годов 20 века. Для материаловедения, при создании композиционных материалов весьма важно то, что в настоящее время экспериментально можно определять количество и расположение разного типа дефектов кристаллической структуры непосредственно в промышленных сплавах, изучать появление, перераспределение и исчезновение этих дефектов при получении, обработке давлением, термической обработке и эксплуатации изделий. Это не только позволяет глубже понять поведение кристаллических материалов в разных условиях обработки и эксплуатации, но и открывает новые возможности для целенаправленного формирования оптимальной кристаллической структуры с заданным количеством и распределением дефектов структуры, которые обеспечивают требуемые свойства материалов.</p> <p>В современной кристаллографии можно выделить четыре направления, которые в известной мере связаны одно с другим:</p> <ul style="list-style-type: none"> • -геометрическую кристаллографию, изучающую различные формы кристаллов и законы их симметрии; • -структурную кристаллографию и кристаллохимию, которые изучают пространственное расположение атомов в кристаллах и зависимость его от химического состава и условий образования кристаллов; • -кристаллофизику, изучающую влияние внутреннего строения кристаллов на их физические свойства; • -физико-химическую кристаллографию, которая изучает вопросы образования искусственных кристаллов. 				
	Справ. №				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		16

Перв. примен.	<h2>2.1 Общие положения геометрической кристаллографии</h2> <p>При изучении вопроса кристаллического строения тел, прежде всего необходимо иметь четкое представление о терминах: "пространственная решетка" и "элементарная ячейка". Эти понятия используются не только в кристаллографии, но и в целом ряде смежных наук для описания, как расположены в пространстве материальные частицы в кристаллических телах.</p>				
	Справ. №	<h3>2.1.1 Понятие о пространственной решетке</h3> <p>Как известно, в кристаллических телах, в отличие от аморфных, материальные частицы (атомы, молекулы, ионы) располагаются в определенном порядке, на определенном расстоянии друг от друга.</p> <p>Пространственная решетка — это схема, которая показывает расположение материальных частиц в пространстве.</p> <p>Пространственная решетка (Рис. 2.1) фактически состоит из множества одинаковых параллелепипедов, которые целиком, без промежутков, заполняют пространство. Материальные частицы обычно располагаются в узлах решетки — точках пересечения ее ребер.</p>			
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №		
	<p>Рисунок 2.1 - Пространственная решетка</p>				
Инв. № подл.					Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

2.1.2 Понятие об элементарной ячейке

Элементарная ячейка — это наименьший параллелепипед, с помощью которого можно построить всю пространственную решетку путем непрерывных параллельных переносов (трансляций) в трех направлениях пространства (Рис. 2.2).

Три вектора a , b , c , являющиеся ребрами элементарной ячейки, называют векторами трансляции. Их абсолютная величина (a , b , c) — это периоды решетки, или осевые единицы. Вводят в рассмотрение и углы между векторами трансляций — α (между векторами c , b), β (между a , c) и γ (между a , b). Таким образом, элементарную ячейку определяют шесть величин: три значения периодов (a , b , c) и три значения углов между ними (α , β , γ).

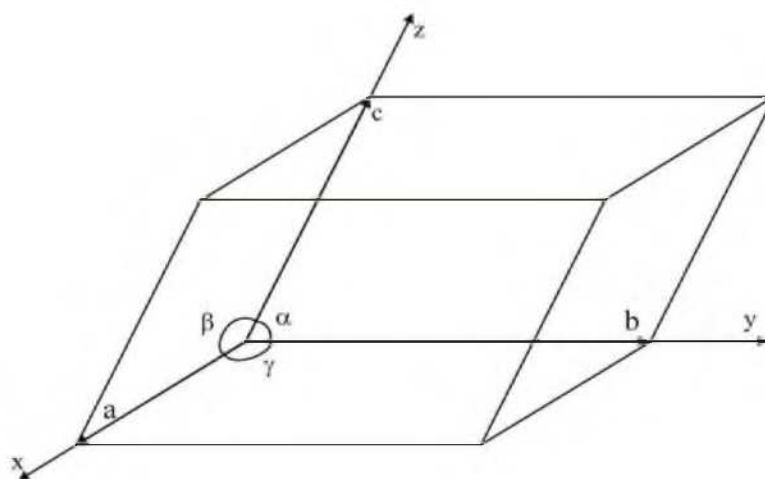
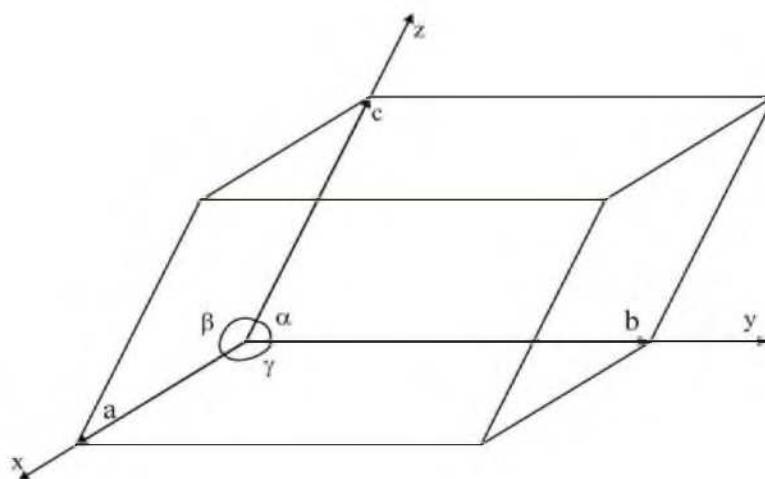
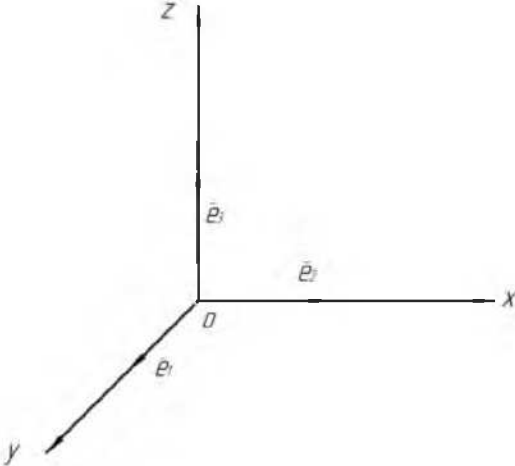


Рисунок 2.2 - Элементарная ячейка

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	2.1.2 Понятие об элементарной ячейке																				
<p>Элементарная ячейка — это наименьший параллелепипед, с помощью которого можно построить всю пространственную решетку путем непрерывных параллельных переносов (трансляций) в трех направлениях пространства (Рис. 2.2).</p> <p>Три вектора a, b, c, являющиеся ребрами элементарной ячейки, называют векторами трансляции. Их абсолютная величина (a, b, c) — это периоды решетки, или осевые единицы. Вводят в рассмотрение и углы между векторами трансляций — α (между векторами c, b), β (между a, c) и γ (между a, b). Таким образом, элементарную ячейку определяют шесть величин: три значения периодов (a, b, c) и три значения углов между ними (α, β, γ).</p>																											
																											
Рисунок 2.2 - Элементарная ячейка																											
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> <td colspan="2">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">Лис</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="2">18</td> </tr> </table>							Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ							Лис							18	
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ																						
					Лис																						
					18																						

Перв. примен.	2.2 Системы координат.				
	2.2.1 Классификация систем координат				
Справ. №	<p>Классификация кристаллов по сингониям определяется выбором кристаллографической системы координат или, проще говоря, элементарной ячейки (ее параметров $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$).</p> <p>Но прежде чем переходить к кристаллографической системе координат, рассмотрим самые распространенные системы координат.</p> <p>Для того чтобы задать систему координат нужно для начала задать базис пространства. Задается он единичными векторами $e_1 = \{1, 0, 0\}$, $e_2 = \{0, 1, 0\}$, $e_3 = \{0, 0, 1\}$, длина которых равна единице выбранного масштаба. Если единичные векторы ортогональны то можно сказать, что они образуют базис прямоугольной системы координат (ортонормированный базис).</p> <p>Если единичные векторы ортогональны то можно сказать, что они образуют базис прямоугольной системы координат (ортонормированный базис).</p> <p>Под базисом векторного пространства понимают совокупность линейно независимых векторов этого пространства, число которых равно размерности пространства.</p>				
					
Подпись и дата	Рисунок 2.3 - Базис векторного пространства				
	<div> <div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> <div>19</div>				

Перв. примен.	<p>Положение любой точки Р в пространстве (в частности, на плоскости) может быть определено при помощи той или иной системы координат. Числа, определяющие положение точки, называются координатами этой точки.</p> <p>Прямоугольные и косоугольные координатные системы объединяются под названием декартовых систем координат.</p> <p>Иногда на плоскости применяют полярные системы координат, а в пространстве - цилиндрические или сферические системы координат.</p> <p>Обобщением всех перечисленных систем координат являются криволинейные системы координат.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата					
	Изн. № дубл.				
Взам. инв. №					
	Подпись и дата				
Изн. № подл.					

```

graph TD
    A[Криволинейные системы координат] --> B[Декартовы прямоугольные системы координат]
    A --> C[Полярные системы координат]
    B --> D[Декартовы прямоугольные системы координат на плоскости]
    B --> E[Декартовы прямоугольные системы координат в пространстве]
    E --> F[левые]
    E --> G[правые]
    C --> H[Цилиндрические системы координат]
    C --> I[Сферические системы координат]

```

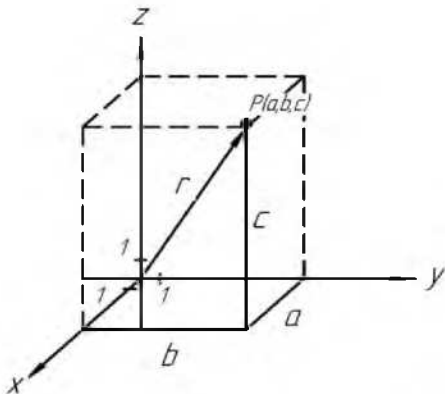
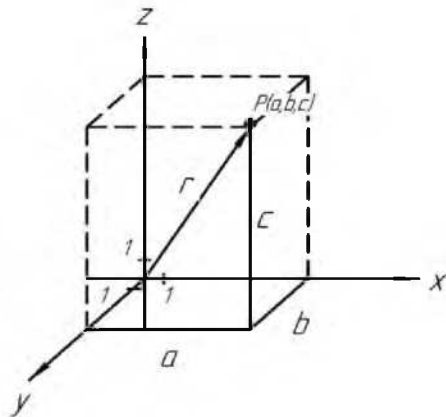
Рисунок 2.4 - Криволинейные системы координат

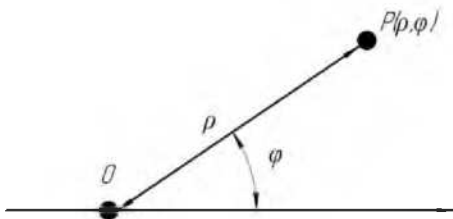
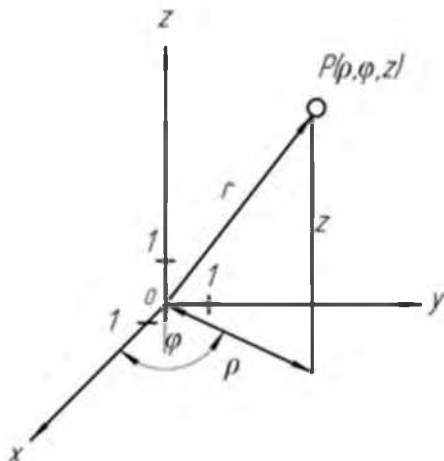
2.2.2 Декартова прямоугольная система координат.

Для задания декартовой прямоугольной системы координат нужно выбрать несколько взаимно перпендикулярных прямых, называемых осями. Точка пересечения осей О называется началом координат.

					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		20

Перв. примен.		<p>На каждой оси нужно задать положительное направление и выбрать единицу масштаба. Координаты точки Р считаются положительными или отрицательными в зависимости от того, на какую полуось попадает проекция точки Р.</p> <p>Декартовыми прямоугольными координатами точки Р на плоскости называются взятые с определенным знаком расстояния (выраженные в единицах масштаба) этой точки до двух взаимно перпендикулярных прямых - осей координат или, что то же, проекции радиус-вектора r точки Р на две взаимно перпендикулярные координатные оси (Рис.2.6).</p> <p>Когда говорят про двумерную систему координат, горизонтальную ось называют осью абсцисс (осью OX), вертикальную ось – осью ординат (осью OY). Положительные направления выбирают на оси OX - вправо, на оси OY - вверх. Координаты X и Y называются, соответственно, абсциссой и ординатой точки.</p> <p>Запись $P(a,b)$ означает, что точка Р на плоскости имеет абсциссу a и ординату b.</p> <div data-bbox="667 1279 1023 1637" data-label="Figure"> </div> <p>Рисунок 2.5 - Декартовы прямоугольные системы координат на плоскости</p> <p>Декартовыми прямоугольными координатами точки Р в трехмерном пространстве называются взятые с определенным знаком расстояния (выраженные в единицах масштаба) этой точки до трех взаимно</p>																	
Справ. №																			
Подпись и дата																			
Инв. № дубл.																			
Взам. инв. №																			
Подпись и дата																			
Инв. № подл.		<table border="1"> <tr> <td data-bbox="217 2085 280 2152">Изм.</td> <td data-bbox="280 2085 360 2152">Лист</td> <td data-bbox="360 2085 536 2152">№ докум.</td> <td data-bbox="536 2085 719 2152">Подпись</td> <td data-bbox="719 2085 879 2152">Дат</td> <td data-bbox="879 2085 1461 2152" rowspan="2">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</td> <td data-bbox="1461 2085 1543 2152">Лист</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td data-bbox="1461 2152 1543 2208">21</td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лист						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лист													
						21													

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Перв. примен.	<p>перпендикулярных координатных плоскостей или (проекции радиус-вектора \mathbf{r} точки P на три взаимно перпендикулярные координатные оси).</p> <p>В зависимости от взаимного расположения положительных направлений координатных осей возможны левая и правая координатные системы (Рис. 2.7).</p>									
						<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>									
<p>Рисунок 2.6 - Декартовы прямоугольные системы координат в трехмерном пространстве.</p>															
<p style="text-align: center;">2.2.3 Полярные системы координат.</p>															
<p>Полярными координатами точки P называются радиус-вектор ρ - расстояние от точки P до заданной точки O (полюса) и полярный угол φ - угол между прямой OP и заданной прямой, проходящей через полюс (полярной осью). Полярный угол считается положительным при отсчете от полярной оси против часовой стрелки и отрицательным при отсчете в обратную сторону (Рис. 2.8).</p>															
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат						<div style="text-align: right;"> <p>Лист</p> <p>22</p> </div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат											

Перв. примен.						
Справ. №						
<div></div> <div>Рисунок 2.7 - Полярные системы координат</div> <div>Формулы для перехода от полярных координат к декартовым:</div> <div>$\begin{aligned} x &= r \cos \varphi \\ y &= r \sin \varphi \end{aligned} \tag{2.1}$</div> <div>И обратно:</div> <div>$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \sin \varphi = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \cos \varphi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \tag{2.2}$</div>						
Подпись и дата						
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
<div><div>2.2.4 Цилиндрические системы координат.</div><div>ρ и φ - полярные координаты проекции точки Р на основную плоскость (обычно ХОУ), z - аппликата - расстояние от точки Р до основной плоскости</div><div></div><div>Рисунок 2.8 - Цилиндрические системы координат</div><div>Для цилиндрических координат координатными поверхностями являются плоскости, перпендикулярные к оси ОZ (z=const), полуплоскости,</div></div>						
<div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Изм.</div><div>Лис</div><div>№ докум.</div><div>Подпись</div><div>Дат</div></div></div>					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	<div>Лис</div> <div>23</div>

ограниченные осью z ($\varphi = \text{const}$) и цилиндрические поверхности, осью которых является ось z ($\rho = \text{const}$). Координатные линии - линии пересечения этих поверхностей.

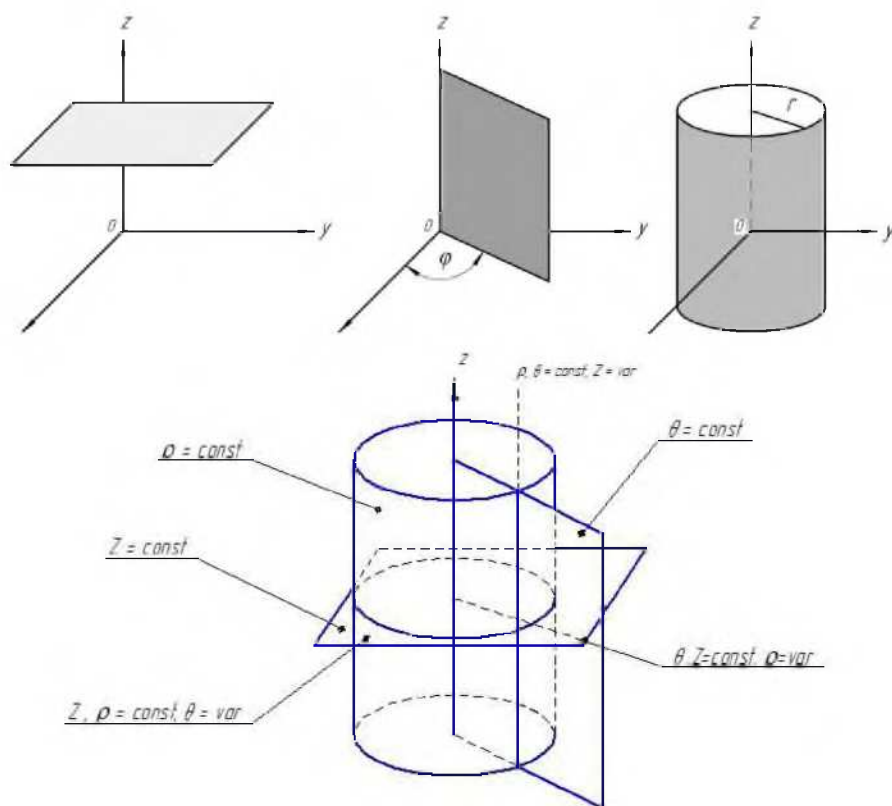


Рисунок 2.9 - Координатные плоскости цилиндрической системы координат

Формулы для перехода от цилиндрических координат к декартовым:

$$\begin{cases} x = \rho \cos \varphi \\ y = \rho \sin \varphi \\ z = z \end{cases} \quad (2.3)$$

И обратно:

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \varphi = \arctg \left(\frac{y}{x} \right) \\ z = z \end{cases} \quad (2.4)$$

2.2.5 Сферические системы координат.

Положение точки Р в сферической системе координат задается тройкой чисел: r - расстояние от начала координат до точки Р, φ - долгота, θ - полярное расстояние (Рис. 2.11).

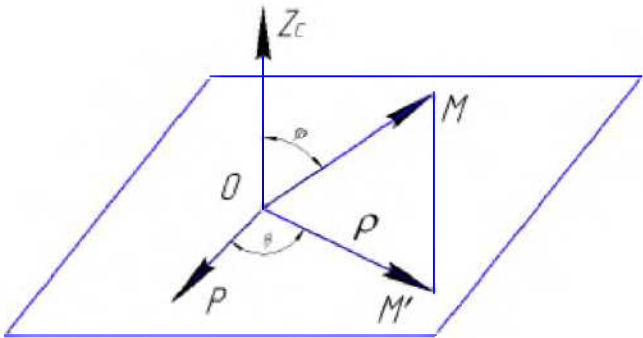


Рисунок 2.10 – Сферическая система координат

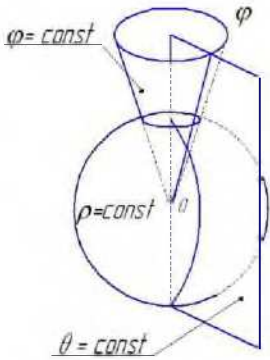


Рисунок 2.11 - Координатные поверхности и координатные линии сферической системы координат

Переход от сферических координат к декартовым описывается формулами:

$$\begin{cases} x = r \sin\theta \cos\varphi \\ y = r \sin\theta \sin\varphi \\ z = r \cos\theta \end{cases} \quad (2.5)$$

Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата	
Изм.									
Лист									
№ докум.									
Подпись									
Дат									
БР - 15. 03. 01 - 071311831 ПЗ									
26		Лист							

Перв. примен.

Справ. №

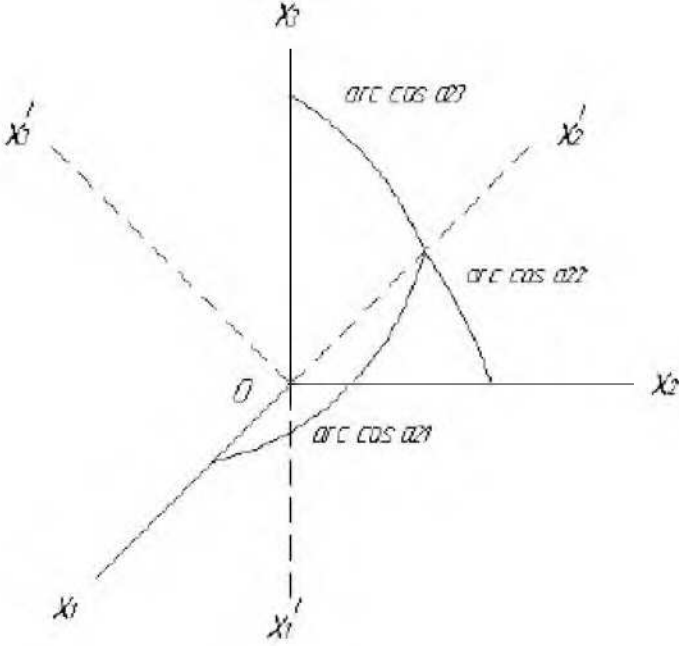
И обратно:

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta = \arccos\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right) \\ \varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{y}\right) \end{cases} \quad (2.6)$$

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">2.3 Сведения о физической кристаллографии</h2>													
	<h3 style="text-align: center;">2.3.1 Общие понятия.</h3>													
Справ. №	<p>Для одних и тех же кристаллов возможны различные типы физических свойств: от скаляра до тензора 4 ранга.</p> <p>С помощью тензора можно описать физическое свойство среды так, чтобы оно оставалось инвариантным по отношению к преобразованию системы координат.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Скаляр (тензор нулевого ранга) определяется одним числом и не зависит от направления. • Вектор (тензор первого ранга) определяется тремя числами, каждое из которых связано с одной из осей координат. Векторная величина зависит от направления. Примерами векторных величин могут служить механическая сила, ускорение и т.д. Векторную величину геометрически изображают в виде направленного отрезка. Длина отрезка численно равна векторной величине, а стрелка указывает направление ее действия (изменения). <p>К примеру, возьмем вектор напряженности электрического поля. Значение напряженности электрического поля можно найти не только заданием его величины и направления, но и взяв три взаимно перпендикулярные оси и задав компоненты (проекции на оси) вектора вдоль их.</p> <p>Модуль вектора $E = E_1, E_2, E_3$. Таким образом, когда выбрана система координат, вектор полностью определяется заданием значений трех его компонент вдоль координатных осей.</p>													
	<h3 style="text-align: center;">2.3.2 Тензор второго ранга</h3> <p>В анизотропной среде потребность выразить функциональные отношения между векторами приводит к понятию линейного оператора, координаты</p>													
Подпись и дата														
Име. № подл.														
Име. № дубл.														
Взам. инв. №														
Подпись и дата														
Име. № подл.														
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> </div> <div> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> <p>27</p> </div> </div>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат					
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат										

Перв. примен.	<p>которого образуют тензор. Тензор второго ранга в общем случае связывает два каких-либо вектора так, что:</p> $ \begin{aligned} p_1 &= T_{11}q_1 + T_{12}q_2 + T_{13}q_3 \\ p_2 &= T_{21}q_1 + T_{22}q_2 + T_{23}q_3 \\ p_3 &= T_{31}q_1 + T_{32}q_2 + T_{33}q_3 \end{aligned} \tag{2.7} $																				
	Справ. №	<p>Таким образом, тензор второго ранга имеет девять компонент, которые можно записать в виде таблицы:</p> $ T_{ij} = \begin{vmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{vmatrix} \tag{2.8} $ <p>Каждый из девяти коэффициентов T_{11}, T_{12}, T_{13} и т.д., называемых компонентами тензора, имеет определенный геометрический и физический смысл.</p>																			
<h3>2.3.3 Преобразование осей координат</h3>																					
Подпись и дата	<p>Под преобразованием осей координат мы будем понимать переход от одной системы взаимно ортогональных осей координат к другой с тем же началом, но отличающейся от исходной на угол φ. Масштабные отрезки вдоль каждой из осей всегда остаются неизменными. Углы между новыми осями определяются таблицей направляющих косинусов (Табл.1):</p>																				
	Изн. № дубл.	<p>Таблица 1 – таблица направляющих косинусов</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>X_1</td> <td>X_2</td> <td>X_3</td> </tr> <tr> <td>X'_1</td> <td>C_{11}</td> <td>C_{12}</td> <td>C_{13}</td> </tr> <tr> <td>X'_2</td> <td>C_{21}</td> <td>C_{22}</td> <td>C_{23}</td> </tr> <tr> <td>X'_3</td> <td>C_{31}</td> <td>C_{32}</td> <td>C_{33}</td> </tr> </table>						X_1	X_2	X_3	X'_1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	X'_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	X'_3	C_{31}	C_{32}
		X_1	X_2	X_3																	
X'_1	C_{11}	C_{12}	C_{13}																		
X'_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}																		
X'_3	C_{31}	C_{32}	C_{33}																		
Взам. инв. №	<p>Пусть единичные векторы $e_1=\{1,0,0\}$, $e_2=\{0,1,0\}$, $e_3=\{0,0,1\}$ образуют базис прямоугольной системы координат. Условие ортогональности единичных векторов можно представить формулой:</p>																				
	Подпись и дата																				
Изн. № подл.																					
	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Лис</div> </div>																				
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Изм. Лис № докум. Подпись Дат</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">28</div> </div>																					

Перв. примен.	$e_i e_j = \delta_{ij} \quad (2.9)$ <p>δ_{ij} - символ Кронекера, которые являются элементами единичной матрицы:</p> $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.10)$				
	Справ. №	<p>И определяется выражениями: $\delta_{ij} = 1$, если $i=j$; $\delta_{ij} = 0$, если $i \neq j$.</p> <p>Перейдем к новой(штрихованной) прямоугольной системе координат, полученной поворотом исходной системы вокруг начала координат. Единичные векторы $e'_1=\{1,0,0\}$, $e'_2=\{0,1,0\}$, $e'_3=\{0,0,1\}$ образуют базис штрихованной прямоугольной системы координат. Тогда:</p> $e_i' e_j' = \delta_{ij} \quad (2.11)$ <p>Согласно теореме о направляющих косинусах координаты векторов e_1, e_2, e_3 в базисе e'_1, e'_2, e'_3 равны направляющим косинусам этих векторов.</p> <p>Введем обозначения, используя символы C_{k1}, C_{k2}, C_{k3}, которые будут являться направляющими косинусами вектора e_k ($k=1,2,3$).</p> <p>Тогда разложение будет иметь вид:</p> $\begin{aligned} e_1 &= c_{11}e'_1 + c_{21}e'_2 + c_{31}e'_3 \\ e_2 &= c_{12}e'_1 + c_{22}e'_2 + c_{32}e'_3 \\ e_3 &= c_{13}e'_1 + c_{23}e'_2 + c_{33}e'_3 \end{aligned} \quad (2.12)$ <p>Или:</p> $e_k = \sum_{n=1}^3 c_{kn} e_n' \quad (2.13)$ <p>где c_{kn} - направляющий косинус между старой и новой осью. Здесь первый индекс относится к старой системе координат, а второй - к новой.</p> <p>Для выражения новых координат через старые используют обратную формулу:</p> $e_n = \sum_{k=1}^3 c_{nk} e_k' \quad (2.14)$			
Подпись и дата					
Изн. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Изн. № подл.					
<div> <div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>					<div>Лис</div> <div>29</div>

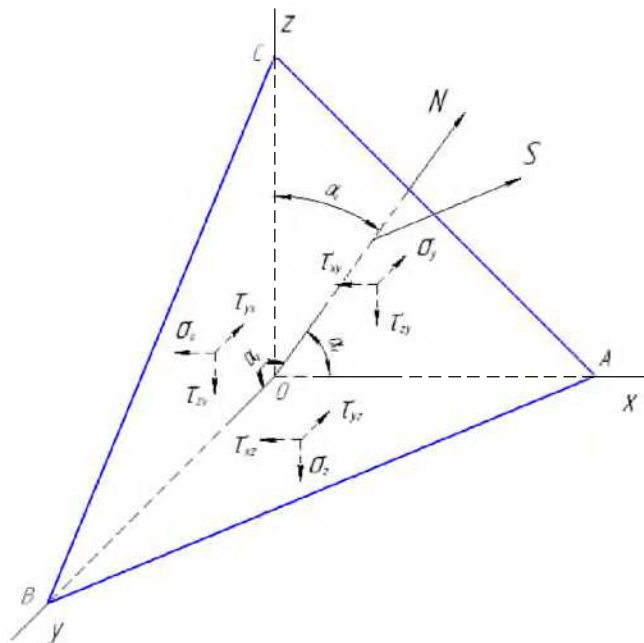
Справ. №	Перв. примен.	<p>И разложение примет вид:</p> $\begin{aligned} e_1 &= c_{11}e'_1 + c_{12}e'_2 + c_{13}e'_3 \\ e_2 &= c_{21}e'_1 + c_{22}e'_2 + c_{23}e'_3 \\ e_3 &= c_{31}e'_1 + c_{32}e'_2 + c_{33}e'_3 \end{aligned} \tag{2.15}$ <p>Следует заметить, что при переходе от старой системы координат к новой индексы суммирования стоят рядом, а при обратном преобразовании они отделены друг от друга.</p>					
							
		<p>Рисунок 2.12 – К понятию таблицы направляющих косинусов</p>					
		<p>2.3.4 Преобразование компонент вектора.</p>					
		<p>При переходе от прямоугольной системы координат к новой, тоже прямоугольной системе, отличающейся от старой поворотом на угол φ и имеющей с ней общее начало, векторная величина A преобразуется по закону:</p>					
		$A'_i = c_{ik}A_k \tag{2.16}$					
		<p>где c_{ik} - косинусы углов между осями.</p>					
		$c_{ik} = \cos X_i X_k \tag{2.17}$					
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ		Лис
							30
					Изм.	Лис	№ докум.

Перв. примен.	<p>Для обратного перехода:</p> $A_i = c_{ki}A'_k \quad (2.18)$ <p>Выписав полностью формулы приведенные выше, и придавая индексам i,k значения от 1 до 3, получим равенства:</p> $A'_1 = A_1 \cos(X'_1X_1) + A_2 \cos(X'_1X_2) + A_3 \cos(X'_1X_3) = c_{11}A_1 + c_{12}A_2 + c_{13}A_3 \quad (2.19)$ <p>Аналогично находим A'_2, A'_3. Равенства выписываем с помощью таблицы косинусов.</p>				
	Справ. №	<p>2.3.5 Преобразование компонент тензора второго ранга.</p> <p>Тензор второго ранга T_{ij} имеет девять независимых компонент:</p> $T_{ij} = \begin{vmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{vmatrix} \quad (2.20)$ <p>При переходе от прямоугольной системы координат к штрихованной, тоже прямоугольной системе, отличающейся от старой поворотом на угол φ и имеющей с ней общее начало, компоненты тензора второго ранга преобразуются по закону:</p> $T'_{ij} = c_{il}c_{jm}T_{lm} \quad (2.21)$ <p>где $i, k, l, m = 1, 2, 3$;</p> <p>c – косинусы углов между осями.</p>			
Подпись и дата		Изм. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Изм. № подл.
	<p>Изм. Лис № докум. Подпись Дат</p>				
<p>Лис 31</p>					

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">2.4 Тензор напряжений 2-го ранга</h2> <p>Тело, подвергающееся действию сил, находится в напряженном состоянии. Внешние силы, действующие на тело, бывают двух основных видов: поверхностные и объемные (массовые).</p> <p>К поверхностным силам относят силы, приложенные к поверхности тела. Они могут быть сосредоточенными и распределенными.</p> <p>К объемным силам относят силы, действующие на все материальные точки тела и пропорциональные их массам, например силы тяжести, силы инерции и др. В дальнейшем действие объемных сил рассматривать не будем.</p> <p>При изучении напряженного состояния принимаем, что тело однородно, изотропно и представляет собой систему непрерывных материальных точек. Если система точек находится в равновесии, то принимается, что внешние силы уравниваются так, как если бы система отвердела. Это так называемый принцип отвердения.</p> <p>Под действием внешних сил в теле возникают внутренние усилия. Предел отношения внутреннего усилия ΔP, действующего на какую-либо элементарную площадку, выделенную в рассматриваемой точке тела, к ее площади ΔF при неограниченном уменьшении последней называется напряжением σ:</p> $\sigma = \frac{\delta P}{\delta F_{\delta F \rightarrow 0}} \tag{2.22}$ <p>Каждая точка в напряженном теле находится под действием всех ее окружающих точек, а поэтому в любой плоскости, проведенной через данную точку, на нее будет действовать напряжение, характеризуемое определенной величиной и направлением.</p> <p>В зависимости от выбора системы координат и направления силы напряжения бывают: одноосные, двухосные и трехосные.</p>					
	Справ. №					
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div> </div>
	Лис					
						32

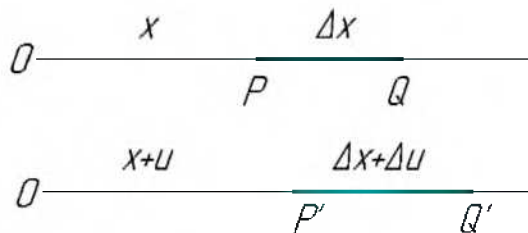
Перв. примен.	<p>У одноосных напряжений сила направлена только в 1 направлении и в этом же направлении вызывает напряжение.</p> 				
Справ. №	<p>Рисунок 2.13 - Одноосное напряженное состояние</p> <p>Двухосное напряженное состояние возникает когда сила может быть разложена по двум осям. Как пример можно рассмотреть лист, на который действует сила q.</p> 				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.	<p>Проведем через напряженную точку три плоскости, параллельные плоскостям координат. Для того чтобы иметь возможность обозначить на чертеже напряжения, действующие на точку в этих плоскостях, построим параллелепипед, ребра которого примем бесконечно малыми, неограниченно приближающимися к точке. Тогда на гранях такого элементарного параллелепипеда, проходящих через данную точку, можно изобразить векторы напряжений, действующих на точку в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (координатных площадках). При этом напряжение в каждой площадке разложим на три: одно нормальное и два касательных, которые</p>				
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	Лис
				БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	33

Перв. примен.	<p>направим параллельно осям координат. Таким образом, всего получим три нормальных и шесть касательных напряжений.</p> <div></div>																																			
Справ. №	<p>Рисунок 2.15 – трехосное напряженное состояние</p>																																			
<p>Нормальные напряжения в координатных площадках обозначим σ, касательные τ. Примем индексы из двух букв. Первая буква будет указывать ту координатную ось, по направлению которой действует напряжение, а вторая — ту координатную ось, которая нормальна (перпендикулярна) той площадке (внешняя нормаль), к которой напряжение приложено (адрес напряжения). Например, τ_{xy}—касательное напряжение, действующее параллельно оси x на площадку, перпендикулярную к оси y, т. е. на площадку, параллельную плоскости xz. Поскольку для нормальных напряжений направление и адрес совпадают, применим для их обозначения индекс из одной буквы, например σ_x, вместо σ_{xx}.</p> <p>Напряжения, действующие в точке по площадкам, параллельным плоскостям координат, геометрически изображены на рис. 2.15 стрелками.</p> <p>Знак касательных напряжений зависит от знака и направления нормального напряжения рассматриваемой грани элементарного параллелепипеда.</p> <p>Запишем напряжения в точке по трем координатным площадкам в форме матрицы:</p>																																				
Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Име. № подл.	<div><table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</td><td>Лис</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>34</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лис</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дат</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></div>						БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис						34	Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат													
					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис																														
						34																														
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат																																

Перв. примен.	<div>$\begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \tag{2.23}$</div>														
	<p>В каждой горизонтальной строчке записаны напряжения одного направления в последовательности адресов x, y и z. В каждом вертикальном столбике записаны напряжения одного адреса в последовательности направлений x, y, z.</p>														
Справ. №	<p>Докажем, что если заданы напряжения в трех взаимно перпендикулярных площадках, проходящих через данную точку, то ее напряженное состояние вполне определено. Проведем плоскость наклонно к осям координат (рис.). В результате получим фигуру тетраэдра Oabc, сливающегося с точкой O при бесконечном убывании величины его граней. Пусть N — нормаль к наклонной грани тетраэдра. Положение ее определится направляющими косинусами:</p>														
	<div>$\begin{aligned} \cos\alpha_x &= \cos(N, x) = \alpha_x \\ \cos\alpha_y &= \cos(N, y) = \alpha_y \\ \cos\alpha_z &= \cos(N, z) = \alpha_z \end{aligned} \tag{2.24}$</div>														
Подпись и дата	<div></div>														
	<p>Рисунок 2.16 – Напряжение на наклонной площадке</p>														
Изн. № подл.	<div><table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лис</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дат</td></tr></table></div>										Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат											
	<div><div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div><div>Лис 35</div></div>														

Перв. примен.	<p>Пусть площадь наклонной грани будет ΔF, а площади остальных граней, т. е. треугольников ОВС, ОАС и ОАВ, соответственно ΔF_x, ΔF_y и ΔF_z. Считаем, что на наклонную грань действует какое-то напряжение S (полное). Напряжения по координатным площадкам также даны. Проекция напряжения S на направления осей координат, или, что то же, компоненты напряжения S по осям координат, обозначаем S_x, S_y и S_z.</p>				
	Справ. №	<p>Тетраэдр должен находиться в равновесии. Пишем условия равновесия, проецируя все действующие по его граням силы на оси координат:</p> $\begin{aligned} \Sigma \text{пр. } x &= S_x \Delta F - \sigma_x \Delta F_x - \tau_{xy} \Delta F_y - \tau_{xz} \Delta F_z = 0 \\ \Sigma \text{пр. } y &= S_y \Delta F - \sigma_y \Delta F_y - \tau_{yx} \Delta F_x - \tau_{yz} \Delta F_z = 0 \\ \Sigma \text{пр. } z &= S_z \Delta F - \sigma_z \Delta F_z - \tau_{zx} \Delta F_x - \tau_{zy} \Delta F_y = 0 \end{aligned} \quad (2.25)$			
<p>Но:</p> $\begin{aligned} \Delta F_x &= \Delta F a_x \\ \Delta F_y &= \Delta F a_y \\ \Delta F_z &= \Delta F a_z \end{aligned} \quad (2.26)$					
Подпись и дата	<p>Поэтому :</p> $\begin{aligned} S_x &= \sigma_x a_x + \tau_{xy} a_y + \tau_{xz} a_z \\ S_y &= \tau_{yx} a_x + \sigma_y a_y + \tau_{yz} a_z \\ S_z &= \tau_{zx} a_x + \tau_{zy} a_y + \sigma_z a_z \end{aligned} \quad (2.27)$				
	Изн. № дубл.	<p>То же самое что и :</p> $\begin{pmatrix} S_x \\ S_y \\ S_z \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} * \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} \quad (2.28)$			
Взам. изв. №		<p>Суммируя компоненты напряжения S по правилу параллелепипеда, легко получить и само полное напряжение S:</p> $S^2 = S_x a_x + S_y a_y + S_z a_z \quad (2.29)$			
	Подпись и дата				
Изн. № подл.					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
<p>Лис</p> <p>36</p>					

Перв. примен.	<p>Нормальное напряжение в наклонной площадке σ_n определится как сумма проекций компонент S_x, S_y, S_z на к площадке:</p> $\sigma_n = S_x a_x + S_y a_y + S_z a_z \quad (2.30)$																
	Справ. №	<p>Полное касательное напряжение в наклонной площадке найдем по правилу параллелограмма:</p> $\tau^2 = S^2 - \sigma_n^2 \quad (2.31)$ <p>По полученным формулам можно определить напряжение в любой наклонной площадке. Таким образом, если даны шесть напряжений, действующих в точке по трем взаимно перпендикулярным площадкам, то ее напряженное состояние вполне определено.</p> <p>Тензор напряжений - тензор второго ранга, состоящий из девяти величин, представляющих механические напряжения в произвольной точке нагруженного тела. Эти девять величин записываются в виде таблицы, в которой по главной диагонали стоят нормальные напряжения в трёх взаимно перпендикулярных осях, а в остальных позициях — касательные напряжения, действующие на трёх взаимно перпендикулярных плоскостях.</p>															
Подпись и дата		<h2 style="text-align: center;">2.5 Тензор деформации.</h2> <p>Деформацией называют относительное изменение формы экземпляра. Это безразмерная величина, которая определяет изменение длины на единицу длины.</p>															
Инв. № дубл.																	
Взам. инв. №																	
Подпись и дата																	
Инв. № подл.	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <table border="1" style="width: 40%;"> <tr><td>Изм.</td><td>Лис</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дат</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <table border="1" style="width: 10%;"> <tr><td>Лис</td></tr> <tr><td>37</td></tr> </table> </div>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат						Лис	37
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат													
Лис																	
37																	

Перв. примен.		<div></div>				
		Рисунок 2.17 - Одномерная деформация				
Справа. №		Таким образом деформацию можно представить в виде отношения :				
		$\frac{P'Q'-PQ}{PQ} = \frac{\Delta u_i}{\Delta x_j} = e_{ij} \tag{2.32}$				
		<p>Всякое изменение формы кристалла называют деформацией. Для ее описания рассмотрим изменение положения точек кристалла при его деформации в кристаллофизической системе координат. Выберем какую-нибудь точку А в кристалле, отстоящую от начала координат на расстояние r с координатами x₁, x₂, x₃ и проследим за изменением ее положения при деформации (рис.2.27).</p>				
		<p>Пусть в результате деформации точка А переместилась в пространстве на расстояние r' от начала координат. Изменение положения точки А можно описать вектором смещения:</p>				
		$u = r' - r \tag{2.33}$				
		<p>Величина и направление вектора смещения u линейно зависит от координат точки А, т.е. от направления и величины вектора r. Для любой другой точки рассматриваемого кристалла можно констатировать то же самое. Здесь мы имеем случай, когда налицо линейная зависимость двух векторов: u и r. Если их компоненты линейно связаны друг с другом:</p>				
		$\begin{aligned} u_1 &= e_{11}x_1 + e_{21}x_2 + e_{31}x_3 \\ u_2 &= e_{12}x_1 + e_{22}x_2 + e_{32}x_3 \\ u_3 &= e_{13}x_1 + e_{32}x_2 + e_{33}x_3 \end{aligned} \tag{2.34}$				
Подпись и дата						
Ине. № дубл.						
Взам. ине. №						
Подпись и дата						
Ине. № подл.						
					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		38

Перв. примен.	
Справ. №	

или:

$$u_i = e_{ij}x_j \tag{2.35}$$

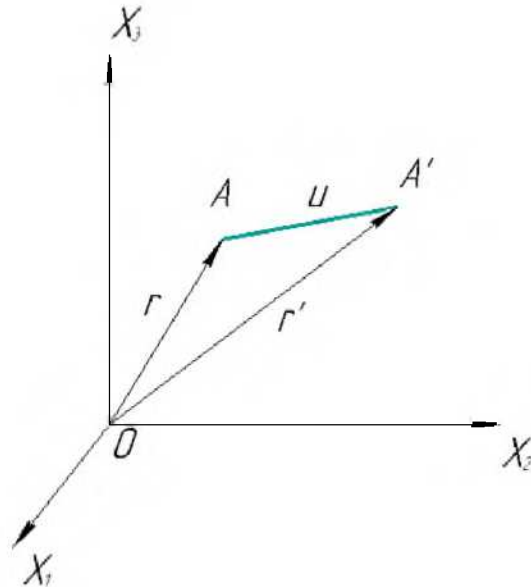


Рисунок 2.18 - Трехмерная деформация

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Так же как и напряжение, деформация — симметричный тензор второго ранга. Тензор деформации связывает между собой два вектора: вектор смещения и координатный вектор. В дифференциальной форме деформация принимает вид:

$$e_{ij} = \frac{\Delta u_i}{\Delta x_j} = \begin{vmatrix} e_{11} & e_{21} & e_{31} \\ e_{12} & e_{22} & e_{32} \\ e_{13} & e_{32} & e_{33} \end{vmatrix} \tag{2.36}$$

Деформация является симметричной, что необходимо для устранения вращательных движений тела, которые не относятся к изменению формы. Рассмотрим, как определяется деформация растяжимой пластинки. Выберем начало координат и зафиксируем его в пространстве. Пусть точка Р (произвольно расположенная на пластинке) с координатами Р x1 и Рх2 (ось расположена перпендикулярно) смещается в положение Р'(x1+u1, x2+u2) следовательно, вектор \vec{u} есть вектор смещения точки Р.

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						39

Перв. примен.																			
Справ. №																			
<p>При такой деформации смещение точки тела в каком-либо направлении(x_1), вызывает искажение в другом направлении (x_2). В результате чего происходит смещение с искажением. Именно с помощью тензора мы попробуем описать это явление.</p> <p>Выберем вблизи точки Р на расстоянии x точку Q.</p> <div></div>																			
<p>Рисунок 2.19 - Выбор исходных точек</p>																			
Подпись и дата	<p>После деформирования точка Q переходит в Q' и вектор P'Q' равен сумме векторов $\Delta x_i + \Delta u_i$, где Δu_i– разность смещений точек Р и Q, первоначально отстоящих друг от друга на Δx_i.</p>																		
Инв. № дубл.																			
Взам. инв. №	$e_{11} = \frac{\Delta u_1}{\Delta x_1}; e_{12} = \frac{\Delta u_1}{\Delta x_2}; e_{21} = \frac{\Delta u_2}{\Delta x_1}; e_{22} = \frac{\Delta u_2}{\Delta x_2}; \tag{2.37}$																		
Подпись и дата	<p>$e_{21} = \tan \theta$ - характеризует поворот вокруг Ox_3 в сторону Ox_2 линейного элемента параллельного Ox_1.</p> <p>Аналогично e_{12} характеризует поворот Ox_3 в сторону Ox_1 линейного элемента параллельного Ox_2.</p> <p>e_{11}, e_{22}- растяжения на единицу длины параллельно Ox_1 и Ox_2 соответственно.</p>																		
Инв. № подл.																			
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лис</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дат</td></tr></table>										Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	<table><tr><td>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</td><td>Лис</td></tr><tr><td></td><td>40</td></tr></table>	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис		40
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат															
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис																		
	40																		

Рассмотрим тот же случай, но теперь перпендикулярно нам будет расположена ось Ox_2 .

После деформации компоненты будут такими:

$e_{31} = \tan \theta$ - характеризует поворот вокруг Ox_2 в сторону Ox_1 линейного элемента параллельного Ox_3

Остальные компоненты будут находиться по аналогичному способу.

Рассмотрим тот же случай, но теперь перпендикулярно нам будет расположена ось Ox_1 .

Таким образом, мы найдем все компоненты, и с их помощью мы найдем искомое смещение с искажением при двумерной деформации(2-36).

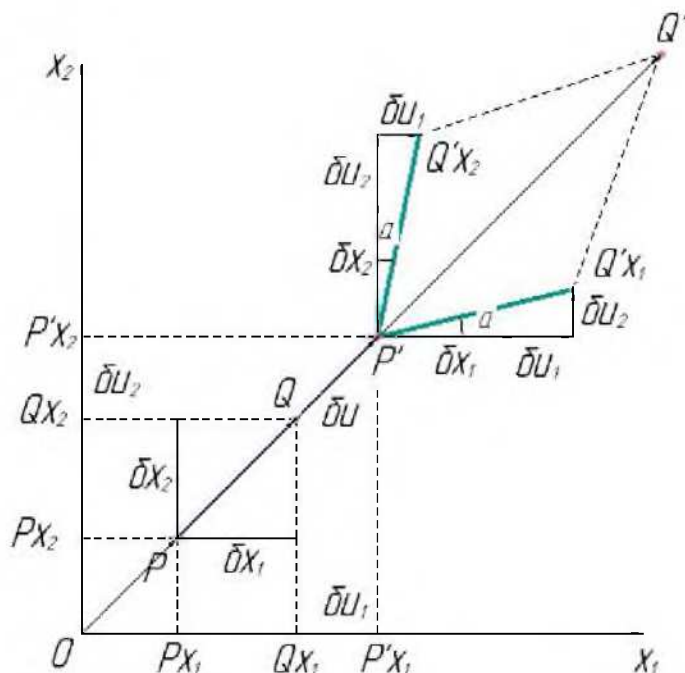


Рисунок 2.20 - Для определения деформации растяжимой пластины изотропного материала для перпендикулярной нам оси Ox_3

Перв. примен.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		</
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>Координаты точки после деформации : $Z_1=2+0,2=2,2$; $Z_2=0-0,2=-0,2$</p> <p>Смещения других трех точек показаны на рис. 2-22.</p> <p>Таким образом мы можем один раз исследовать материал и в последствии знать, как он поведет себя при тех или иных воздействиях.</p>																				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div>																											
<p>Рисунок 2.22 - Изменение формы тела после деформации.</p>																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</td> </tr> </table>																					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ																						
						Лис																					
						43																					

Перв. примен.	<h3>3 Технологическая часть. Параметры, влияющие на эффективность технологии прессования профилей</h3> <h4>3.1 Основы процесса прессования</h4> <h5>3.1.1 Этапы развития технологии прессования</h5> <p>Технология как наука начала формироваться в 17-18 в. Необходимость в производстве труб для транспортировки жидкостей появилась в середине 18 в. В 1779 г. Англичанином Д. Брамахом был предложен способ получения свинцовых труб методом выдавливания при помощи устройства, напоминающего ручной насос.</p> <p>Первый гидравлический пресс вертикального исполнения был сконструирован англичанином Т.Баром в 1820 г.</p> <p>Аналогом конструкции современного пресса был горизонтальный прутково-профильный пресс для получения прутков из медных сплавов, созданный А. Диком в 1894 г. в Германии.</p> <p>В России промышленное холодное прессование свинцовых прутков было освоено в конце 19 в. В первые годы советской власти технология прессования применялась в основном двумя заводами: «Красный выборжец» (г. Ленинград) и Первый государственный завод по обработке цветных металлов (г. Кольчугина).</p> <p>В начале и середине XX в. технология прессования заняла одно из ведущих мест в металлообработке. В связи с развитием энергетики и электротехнической промышленности, бурным ростом авиа- и судостроения появилось большое количество разновидностей процесса прессования, резко возросло количество прессуемых сплавов. За данный период времени можно выделить следующие основные направления развития технологии прессования:</p> <ul style="list-style-type: none"> Освоение новых сплавов; Решение проблем стойкости инструмента; 									
	Справ. №									
Подпись и дата		Име. № дубл.	Взам. име. №	Подпись и дата	Име. № подл.					
<div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div>						<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> <div>44</div> </div>				

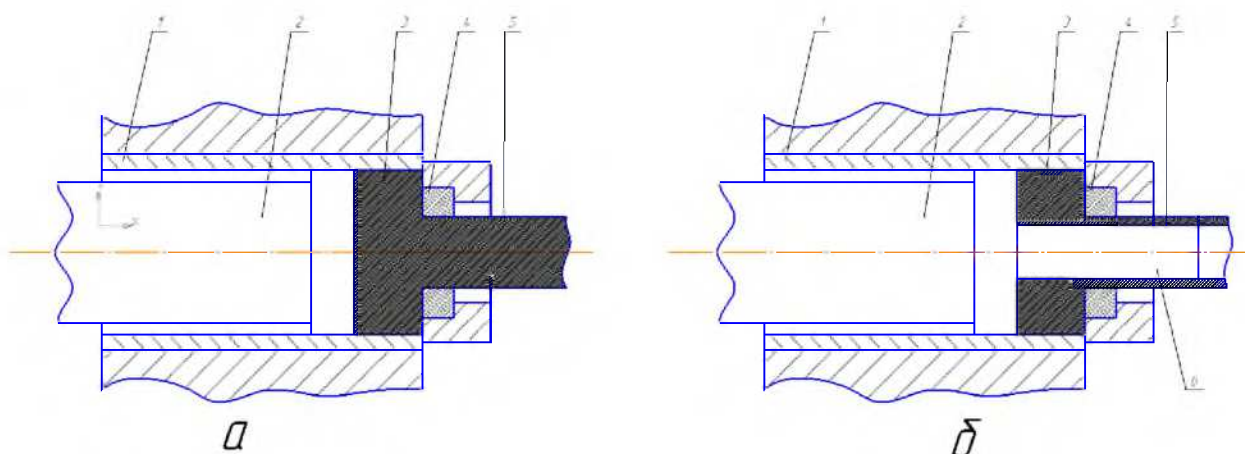
Перв. примен.	<ul style="list-style-type: none"> Изучение влияния смазывающих материалов на силовые параметры процесса [11]. 																						
	Справ. №	<p>К 50-60-м годам XX века в мире была создана мощная промышленность по прессовому производству стальных труб и профилей различного технологического назначения. В нашей стране были созданы высокопроизводительные прессы со скоростями передвижения пресс-штемпеля до 500 мм./с. Усилиями до 31,5 МН.</p> <p>Необходимость расширения номенклатуры прессуемых изделий в конце XX в. привела к появлению ряда разновидностей процесса прессования и росту количества различных конструкций прессового инструмента.</p> <p>В последние годы в промышленности идет работа по повышению качества прессовой продукции и снижению энергетических затрат на её производство. В связи с этим большое развитие получили способ обратного прессования и комбинированные методы обработки металлов.</p>																					
Подпись и дата		<h3>3.1.2 Основы процесса прессования, его достоинства и недостатки</h3>																					
	Инв. № дубл.	<p>Прессование – это процесс выдавливания заготовки из замкнутого объёма через канал (отверстие) матрицы.</p>																					
		Взам. инв. №	<p>Схема процесса прессования представлена на рисунке 3.1. Перед прессованием литую или предварительно деформированную заготовку 3, помещают в полость приёмника пресса (контейнера) 1. С одной стороны эта полость перекрывается матрицей 4 с каналом, форма которого соответствует сечению выдавливаемого пресс-изделия 5. С другой стороны на заготовку при помощи пресс-штемпеля 2, передаётся давление пресса.</p>																				
			Подпись и дата	<p>Другим, не менее важным преимуществом прессования, является возможность получения больших степеней деформации за один переход.</p>																			
				Инв. № подл.	<p>Такое преимущество как осуществление больших степеней деформации за один переход, характеризуется коэффициентом вытяжки λ, который определяется по формуле:</p>																		
<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</td> <td>Лис</td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис	Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	45						
					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис																	
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		45																	

$$\lambda = F_k / F_u \quad (3.1)$$

где F_k - площадь поперечного сечения контейнера,

F_u - площадь поперечного сечения изделия.

При прессовании $\lambda = 4 - 60$, а в отдельных случаях $\lambda = 1000$. Для сравнения при прокатке, за один проход, $\lambda \leq 2$, а при ковке её величина составляет от 2 до 3.



а – для сплошного профиля; б – для полого профиля или трубы; 1 – контейнер; 2 – пресс-штемпель; 3 – заготовка; 4 – матрица; 5 – пресс-изделие; 6 – игла-оправка.

Рисунок 3.1 - Общая схема процесса прямого прессования

Возможность получения при прессовании высокого коэффициента вытяжки, обусловлена благоприятной схемой напряжённого состояния металла в процессе деформации, в результате чего металл испытывает большие степени деформации без разрушения. Однако для реализации процесса прессования с большой величиной вытяжки, необходимо приложить большое давление, регламентированное сопротивлением металла пластической деформации и величиной силы трения на границе контакта деформируемого металла с инструментом. Для снижения сил трения используют различные смазочные материалы такие как графит, стекло и др.

Перв. примен.	<p>Прессование, как правило, осуществляют в горячем состоянии. Это необходимо для снижения сопротивления деформации и повышения пластических свойств прессуемого металла.</p> <p>При прессовании могут возникать следующие дефекты: утяжины; трещины; ерши и др.</p> <p>Появление утяжин в значительной степени определяется геометрией области течения металла в контейнере и условиями деформирования. Утяжина по внешнему виду напоминает «воронку», которая возникает при сливе воды в отверстие. Для предотвращения попадания утяжины в пресс-изделие, заготовку недопрессовывают, при этом в контейнере остается часть заготовки (пресс-остаток), которая отделяется от пресс-изделия после окончания цикла прессования. Образование большинства остальных дефектов обусловлено определенными скоростными и температурными условиями процесса.</p>										
	Справ. №	<p>Трубы, прутки и профили можно изготавливать не только прессованием, но и прокаткой. К основным недостаткам процесса прессования, по сравнению с этим способом, можно отнести:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Значительно большая величина потерь на отходах металла. Причиной этого является необходимость удаления пресс-остатка вследствие образования пресс-утяжины; • Большая неравномерность механических свойств по длине и поперечному сечению изделия; • Меньшая производительность процесса, обусловленная меньшими скоростями истечения металла 									
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	<h3>3.2 Типовые схемы прессования труб</h3>							
	<p>Наиболее простая разновидность полых профилей – трубы. Широкий сортament прессованных труб из различных сплавов, многообразие их продольной и поперечной геометрии, различие требований, предъявляемых к трубам в условиях эксплуатации, а также стремление к дальнейшему</p>										
Инв. № подл.	Подпись и дата	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> </table> </div> <div> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> </div> </div>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
		Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат					
<p>47</p>											

Перв. примен.		<p>повышению производительности процесса вызвало появление довольно большого количества способов их прессования.</p> <p>Наибольшее распространение получило прямое и обратное прессование труб из полой заготовки. Схемы прямого и обратного прессования труб отличаются от схемы прессования сплошных изделий наличием иглы-оправки, служащей для; формирования внутреннего канала трубы. Оправка оказывает существенное воздействие на характер течения металла- В зависимости от вида силового привода оправки и вызываемого им усилия можно поддерживать определенное соотношение между скоростью перемещения оправки и скоростью пресс-штемпеля или контейнера.</p> <p>С этой точки зрения различают два основных способа прессования труб: с неподвижной оправкой относительно матрицы и с подвижной. Пер-вый способ осуществляют на прессах с прошивной системой, второй - на прессах без прошивной системы. При прессовании с неподвижной оправкой она закрепляется в иглодержателе и в процессе прессования удерживается гидроцилиндром прошивной системы [11].</p>								
	Справ. №									
Подпись и дата		<h3>3.2.1 Прямое прессование</h3> <p>С точки зрения конструкции инструмента, прямое прессование является одним из самых простых способов получения пресс-изделий с различной формой поперечного сечения. Схема данного процесса представлена на рисунке 3.1.</p> <p>Процесс дискретного прямого прессования сплошных профилей состоит из следующих стадий (рис. 3.2). На первой стадии прессования, когда пресс-штемпель 1 находится в крайнем заднем положении, заготовка 4 и пресс-шайба 2 подаются на ось пресса (в зазор между пресс-штемпелем и торцом контейнера) при помощи специального устройства 3 (рис. 3.2. а). Далее, при холостом ходе пресс-штемпеля вперед, заготовка 4 и пресс-шайба 2 задаются в контейнер 5, после чего устройство 3 отодвигается (рис. 3.2. б).</p>								
	Подпись и дата									
	Взам. инв. №									
	Инв. № дубл.									
	Инв. № подл.									
		Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ			Лис
										48

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

При последующем движении пресс-штемпеля, после прижатия контейнера 5 к матрице 7, закрепленной на передней поперечине 10, происходит процесс прессования заготовки через матрицу. В результате чего образуется пресс-изделие (рис. 3.2. в).

Процесс прессования идет до тех пор, пока величина пресс-остатка не достигнет заданной величины (рис. 3.2.в). После этого контейнер отодвигается назад, освобождая пространство между матрицей и контейнером для подвода пресс-ножниц и приемника пресс-остатка (рис. 3.2. г).

Движением ножа пресс-ножниц 8 пресс-остаток вместе с пресс-шайбой отделяется от пресс-изделия и удаляется при помощи устройства 6 (рис. 3.2. д). Одновременно с этим пресс-штемпель отодвигается в исходное положение.

1 – пресс-штемпель; 2 – пресс-шайба; 3 – устройство для подачи заготовок;
 4– заготовка; 5 – контейнер; 6 – устройство для приёма пресс-остатка; 7 -
 матрица; 8 – ножницы; 9 – прессующая траверса; 10 – передняя поперечина.

Рисунок 3.2- Последовательность стадий процесса прямого прессования

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Лис

49

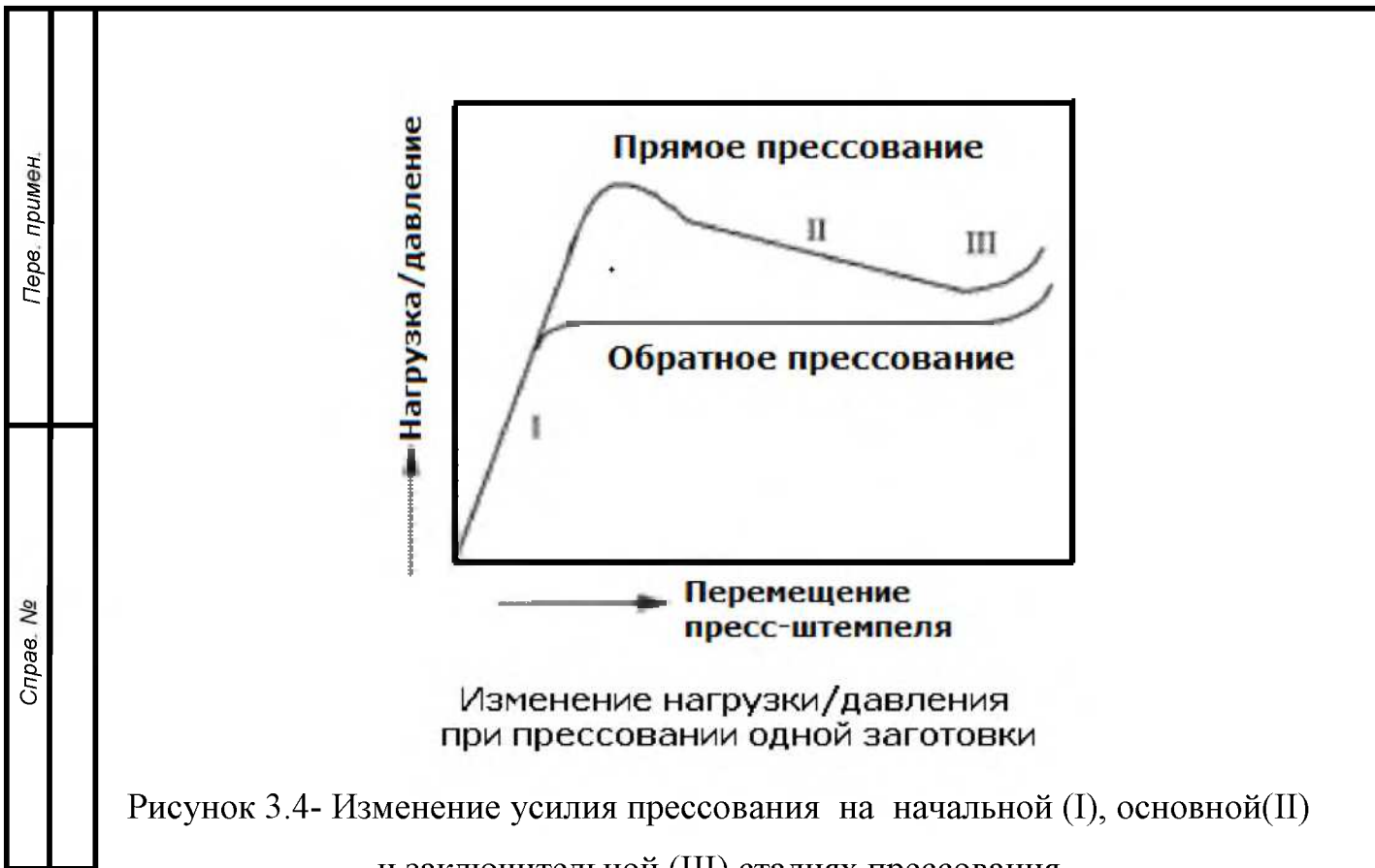
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
------	-----	----------	---------	-----

Перв. примен.	<h3 style="text-align: center;">3.2.2 Обратное прессование</h3> <p>Применение способа обратного прессования, позволяет существенно снизить неравномерность течения металла за счёт того, что слиток в процессе обратного прессования не передвигается относительно контейнера. Более то-го, при обратном прессовании достигается снижение усилия до 40% по сравнению с прямым прессованием. Схема процесса обратного прессования представлена на рисунке 3.3.</p> <p>Метод обратного прессования имеет следующие преимущества по сравнению с прямым:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) высокие скорости прессования вследствие уменьшения неравномерности течения металла; 2) низкие усилия прессования, практически не изменяющиеся в течении процесса, что позволяет прессовать изделия с большим коэффициентом вытяжки и при меньших температурах; 3) относительная однородность структуры и механических свойств по длине пресс-изделий; 4) рост выхода годного благодаря уменьшению толщины пресс-остатка; 5) более высокая производительность прессовой установки вследствие высоких скоростей истечения; 6) более длительный срок службы контейнера в результате неподвижного контакта с заготовкой. <p>К недостаткам обратного прессования можно отнести следующее:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) уменьшение возможного поперечного размера и числа одновременно прессуемых пресс-изделий по сравнению с прямым способом в связи с использованием полого пресс-штемпеля; 2) необходимость применения заготовок с хорошим качеством поверхности; 3) ограниченная номенклатура пресс-изделий 4) увеличение вспомогательного времени цикла по сравнению с традиционным прессованием. 				
	Справ. №				
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.
	Изм.				

Перв. примен.		<p>Следует отметить, что номенклатура изделий, прессуемых обратным способом на прессах с одинаковыми втулками контейнеров, меньше, чем при прямом способе прессования. Это связано с тем, что диаметр окружности, описанной вокруг профиля, не может превышать диаметр внутренней полости пресс-штемпеля.</p>																		
Справ. №		<div data-bbox="475 526 1300 1142"> </div> <p>1 - заготовка, 2 – контейнер, 3 – заглушка, 4 – полый пресс-штыбель, 5 – матрица, 6 – пресс-изделие</p> <p>Рисунок 3.3- Схема процесса обратного прессования сплошных профилей</p>																		
Подпись и дата		<h3>3.3 Теоретические основы технологии прессования</h3> <p>Основные закономерности теории прессования основываются на взаимосвязи между характером течения и напряженно-деформируемым состоянием прессуемого металла по всему его объему. Данные закономерности позволяют обоснованно проектировать технологический процесс прессования, способствуют определению рациональной формы технологического инструмента, повышению качества продукции и т.д. [27]</p> <p>Технология прессования появилась на элементарном уровне более двухсот лет назад. Ее развитие до первой трети XX века шло в основном</p>																		
Инв. № дубл.																				
Взам. инв. №																				
Подпись и дата																				
Инв. № подл.		<table border="1"> <tr> <td data-bbox="207 2083 279 2150">Изм.</td> <td data-bbox="279 2083 351 2150">Лист</td> <td data-bbox="351 2083 534 2150">№ докум.</td> <td data-bbox="534 2083 718 2150">Подпись</td> <td data-bbox="718 2083 877 2150">Дат</td> <td data-bbox="877 2083 1535 2150">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</td> <td data-bbox="1535 2083 1588 2150">Лист</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>51</td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лист							51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лист														
						51														

Перв. примен.						<p>эмпирическим путем и без проведения научных исследований и обоснований. В 30-х годах XX века появились первые публикации экспериментальных исследований, касающиеся качественной оценки характера течения прессуемого металла. Большой вклад в данные исследования внесли П.С. Истомин, С.И. Губкин, Г. Ункель, Э. Зибель, В.В. Жолобов, П.А. Сарычев и другие учение. В 40-х годах после второй мировой войны появились теоретические исследования в области расчета энергосиловых параметров прессования. При этом в качестве основного метода расчета применяли метод плоских сечений. В России данные работы проводились под руководством С.И. Губкина и И.Л. Перлина. В 50-60 годы для теоретических исследований в области прессования нашли применение более эффективные методы линий скольжения и верхних оценок. Результаты данных исследований представлены в работах российских (А.Д. Томленов, Л.А. Шофман, И.П. Рене и др.) и зарубежных (В. Джонсон, Х. Кудо, Д. Бишоп и др.) ученых. Применение вычислительной техники и использование методов механики сплошных сред для решения задач теории прессования позволило ряду ученых (Г.Я. Гун, П.И. Полухин, Л.Г. Степанский, Б.А. Прудковский, Б.М. Готлиб и др.) приступить к реше-нию объемных задач прессования и созданию комплексных математических моделей процесса прессования. Однако, несмотря на значительные успехи, достигнутые в последние годы при создании теории прессования, она еще не может дать ответа на многие вопросы, возникающие при разработке новых и совершенствовании действующих процессов прессования. [28]</p>	
							Справ. №
Подпись и дата						<p align="center">3.4 Течение металла при прессовании</p> <p>Решающее влияние на качество пресс-изделий и энергосиловые параметры процесса прессования оказывает характер течения деформируемого металла в контейнере во время выдавливания, т.е. характер взаимного перемещения отдельных объемов металла, их деформированное состояние. Этим определяется неравномерность структуры и механических</p>	
Инв. № дубл.							
Взам. инв. №							
Подпись и дата							
Инв. № подл.							
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	<p align="center">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>		Лис
							52

Перв. примен.		Справ. №	<p>свойств в объеме пресс-изделий, протяженность боковых и осевых пресс-утяжин. Поэтому исследование влияния различных факторов на характер течения металла позволяет эффективно влиять на результаты процесса прессования, имеет важное научное и практическое значение. Сложность закономерностей характера течения металла и зависимость их от множества факторов, взаимосвязь их друг с другом делают невозможным точного теоретического решения задачи течения металла при прессовании. Поэтому на практике нашли широкое применение в основном экспериментальные методы исследования характера течения металла при прессовании.</p> <p style="text-align: center;">3.5 Течения металла при прямом прессовании прутка через одноканальную матрицу</p> <p>Процесс прессования, заключающийся в выдавливании пресс-штемпелем из замкнутого объема контейнера материала заготовки через открытый канал матрицы, форма и размеры которого соответствуют получаемому пресс-изделию, имеет много разновидностей, обладающих рядом особенностей. Главным определяющим признаком процесса прямого прессования является обязательное перемещение заготовки относительно контейнера при неподвижной относительно контейнера матрицы.</p> <p>По изменению силовых и деформационных условий и соответствующих им картин течения прессуемого металла процесса прямого прессования можно выделить три основных стадии (см. рис.3.4):</p> <ul style="list-style-type: none"> • начальная стадия процесса, когда происходит распрессовка заготовки в контейнере и заполнение прессуемым металлом рабочего канала матрицы, при этом резко возрастает рабочее усилие; • основная стадия процесса, характеризуемая почти установившимся течением металла и плавным падением усилия прессования; • заключительная стадия, во время которой нарушается установившееся течение металла и происходит рост усилия прессования. 													
Подпись и дата		Изн. № дубл.		Взам. инв. №		Изн. № подл.										
Подпись и дата																
Изн. № подл.																
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">53</p> </div> </div>							Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат					
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат												



3.6 Течения металла на начальной стадии.

Для облегчения ввода заготовки в контейнер ее диаметр делают меньше диаметра контейнера на 0,5 - 5 мм в зависимости от их размеров. Это часто вызывает эксцентричное положение заготовки в контейнере, особенно при прессовании на горизонтальных прессах. Течение металла на начальной стадии во время распрессовки заготовки с отношением ее длины к ее диаметру не более 4-х происходит так же, как и при кузнечной операции осадка: диаметр заготовки увеличивается, ее высота уменьшается, и происходит образование «бочки». При этом около матрицы возможно образование полостей со сжатым воздухом. Деформация заготовки на начальной стадии показана на рис.3.5.

Справ. №	Перв. примен.
----------	---------------

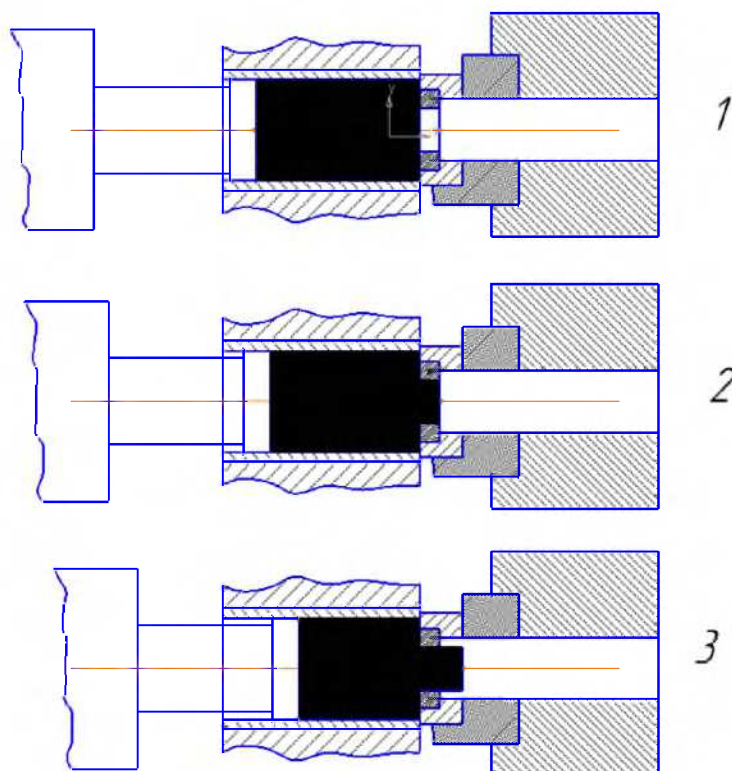


Рисунок 3.5 - Деформация заготовки на различных этапах начальной стадии прессования

При большем 4-х отношением длины заготовки к ее диаметру возможен продольный изгиб во время распрессовки заготовки в контейнере и неизбежное образование полостей со сжатым воздухом (см. рис.3.4). Поэтому заготовки с такими размерами не применяют.

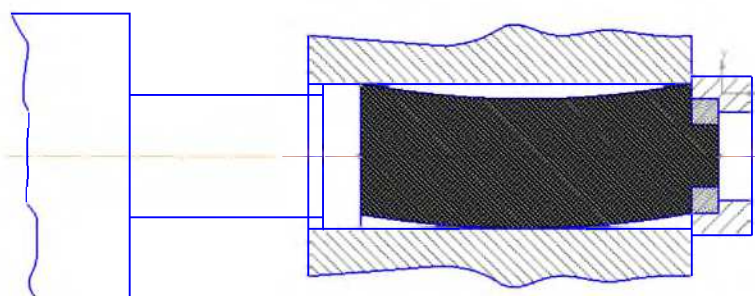


Рисунок 3.6- Продольный изгиб во время распрессовки заготовки в контейнере.

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
--------------	----------------	--------------	--------------	----------------

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
------	-----	----------	---------	-----

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Лис

55

Перв. примен.	<h3>3.7 Течения металла на основной стадии</h3> <p>Течение прессуемого металла на основной стадии процесса при прессовании через коническую матрицу может быть охарактеризовано общей схемой изменений координатной сетки (рис.3.7) по ее состоянию в начале, середине и конце рассматриваемой стадии. Эта схема составлена применительно к благоприятным условиям прессования (равенство прочностных свойств и температуры металла во всех элементарных объемах пластической зоны, небольшие силы трения).</p> <p>При прессовании через плоскую матрицу упругая зона создает матричную воронку. Вследствие этого схема течения металла при прессовании через плоскую матрицу качественно аналогична схеме течения металла при прессовании через матрицу с коническим каналом и отличается лишь скоростями взаимного перемещения элементарных частиц металла.</p> <p>Схема построена без учета распрессовки заготовки и деформации при заполнении канала матрицы. В этих же целях на схеме не отражена упругая зона. Приведенная схема позволяет установить следующие основные положения, определяющие характер течения металла и деформации при прессовании через одноканальную коническую матрицу:</p> <p>1) Все прямые продольные линии начальной координатной сетки, оставаясь, за исключением переднего конца, практически прямыми после прессования, претерпевают изгибы у входа в обжимающую часть пластической зоны и у выхода из этой части.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.
	Лис				
56					

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.										
<p>А – в начале; Б – в середине; В – в конце основной стадии течения; Е – изменение величин главных деформаций удлинения вдоль пресс-изделия: I – осевой и II – периферийный слой.</p>																
<p>Рисунок 3.7- Общая схема координатной сетки в деформированном состоянии прессуемого металла</p>																
<p>2) Данные изгибы направлены во взаимно противоположные стороны (см. стрелки у углов α_{B1} и α_{B2} на рис.3.7, а), что свидетельствует о немонотонности деформации.</p>																
<p>3) Углы $\alpha_{B1} > \alpha_{B1} > \alpha_{A1}$ и $\alpha_{B2} > \alpha_{B2} > \alpha_{A2}$, что свидетельствует об уменьшении немонотонности деформации от периферии к центру.</p>																
<p>4) Соединяя между собой все точки изгибов продольных прямых линий, получают две кривые поверхности, являющиеся границами обжимающей части пластической зоны (ОЧПЗ) со стороны входа и выхода из ОЧПЗ. Торцовые поверхности ОЧПЗ представляют собой плавные осесимметричные поверхности, выпуклость которых направлена против движения прессуемого металла.</p>																
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат						<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>	
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат												
						<p>Лис</p> <p>57</p>										

Перв. примен.	<p>5) На некотором расстоянии от ОЧПЗ продольные линии сетки изгибаются по направлению к оси заготовки, образуя пережимы, утонения центральных и утолщения периферийных слоев. Утолщения являются аккумуляторами металла периферийных слоев, сдвигающихся относительно внутренних.</p>				
	<p>6) Все поперечные прямые линии начальной координатной сетки в заготовке симметрично изгибаются выпуклостью в направлении движения прессуемого металла.</p>				
Справ. №	<p>Это указывает на неравномерность деформации и отставание периферийных слоев металла от центральных в направлении, параллельном оси прессования. При некоторых условиях процесса прессования поперечные линии могут оставаться неизменными вплоть до того, пока не начнут входить в ОЧПЗ (холодное прессование с эффективной смазкой, горячее прессование с обратным истечением) или даже изгибаться в противоположном направлении, т. е. периферийные слои могут опережать внутренние в направлении оси прессования (прессование с опережающим движением контейнера).</p>				
	<p>7) Расстояние между изогнутыми поперечными линиями в заготовке увеличиваются в направлении движения прессуемого металла от пресс-шайбы к ОЧПЗ.</p>				
Подпись и дата	<p>8) В традиционных условиях прессования в пресс-изделии ранее прямые поперечные линии координатной сетки, за исключением нескольких линий, примыкающих к его переднему концу, принимают формы, близкие к параболам (рис.3.7, в):</p>				
	$y^2 = 2px \quad (3.2)$				
Взам. инв. №	<p>Параметр p этих парабол зависит от положения кривых (расстояние от переднего конца) и главным образом от условий прессования. Средние значения параметра каждой параболы могут быть определены по координатам трех-четырех точек, находящихся на них. Чем больше стрела прогиба поперечной линии, тем меньше параметр p соответствующей ей параболы.</p>				
Подпись и дата					
Инов. № подл.					
<div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div>					
<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> </div>					
<div> <div>58</div> </div>					

Перв. примен.	<p>Построив диаграмму изменения этих показателей для центральных ячеек координатной сетки по длине заготовки, получаем точное представление о характере и степени неравномерности деформации по длине заготовки. На рис. 3.7 приведены такие кривые, полученные при исследовании неравномерности деформации слитков разных сплавов на горизонтальном прессе.</p>				
Справ. №	<p>12) Форма изгибов поперечных линий показывает, что все кольцевые слои пресс-изделия подвергаются, кроме основных деформаций – осевой и поперечной деформации простого сдвига, которая растет от внутренних слоев к периферийным. Это подтверждается неравенством углов на рис. 3.7, б: $\gamma_N > \gamma_M$. Все осевые квадраты превращаются в фигуры, близкие к прямо-угольникам, а все периферийные – к сильно вытянутым параллелограммам. Все это указывает на большую неравномерность деформации не только по длине прутка, но и по его сечению. Такая неравномерность ясно видна из сравнения вытяжки различных слоев прутка, полученных из меди, латуни и магниевых сплавов МА2 и МА7 (рис. 3.8).</p>				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

1 – медь; 2 – Л68; 3 – Л62; 4 – ЛС59-1; 5 – Д1; 7 – МН70-30; 8 – Бр АЖМц10-3-1,5.

Рисунок 3.8 - Изменение неравномерности вытяжки по длине заготовки разных сплавов во время прессования

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						60

Инв. № подл.



Перв. примен.	
Справ. №	

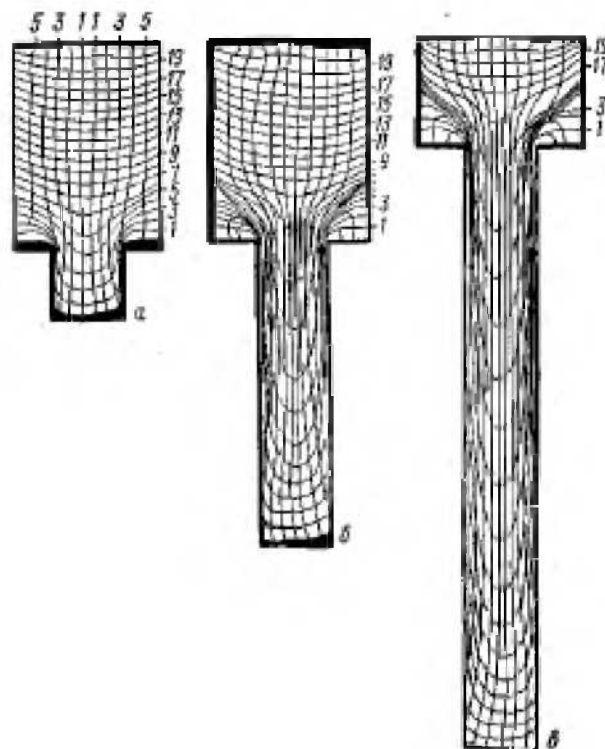


Рисунок 3.10 - Деформированные координатные сетки после прессования прутка из сплава МА2.

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

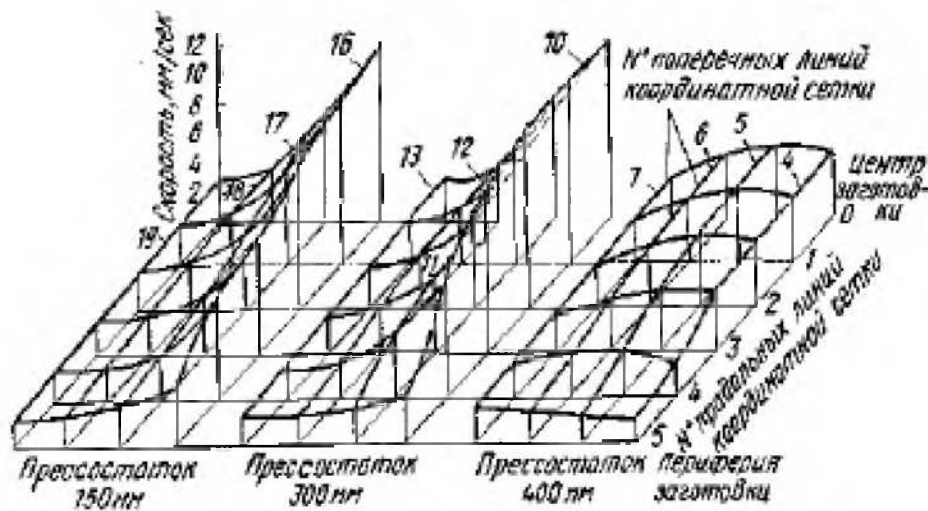
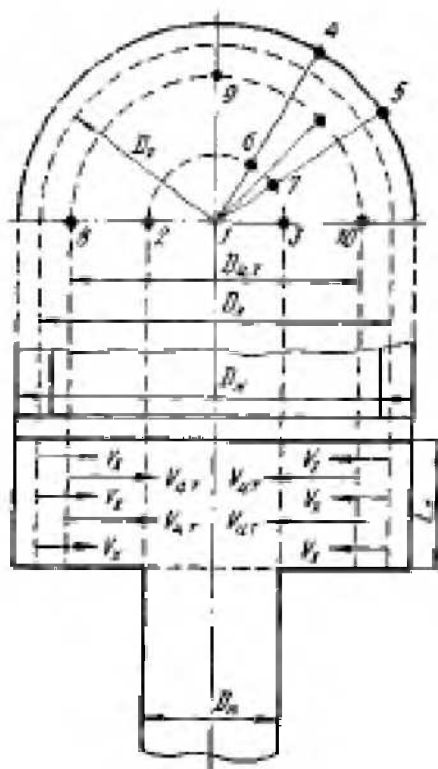


Рисунок 3.11 - Распределение скоростей истечения в различных участках ОЧПЗ при различных пресс-остатках.

Перв. примен.	<h3>3.8 Течения металла на заключительной стадии</h3> <p>На заключительной стадии прессования существенно уменьшается объем прессуемого металла, питающего ОЧПЗ, и самого объема ОЧПЗ. При неизменной скорости прессования $v_{пр}$ и, соответственно, при неизменном секундном объеме $V_{по}$, поступающем в пресс-изделие, резко увеличиваются поперечные скорости течения металла по контактным поверхностям пресс-шайбы и матрицы. Данная скорость будет равна [18]:</p> $V_{пр} = \frac{(D_H^2 - D_K^2)v_{пр}}{4D_K L_X} \quad (3.4)$ <p>где L_X – текущая высота заготовки;</p> <p>D_H и D_K – диаметры контейнера и прутка соответственно; $v_{пр}$ – скорость прессования.</p> <p>Схема определения скорости течения металла в поперечном направлении в заключительной стадии прессования представлена ниже на рис.3.12. Увеличение скоростей течения металла приводит к увеличению сопротивления деформации и росту нормальных сил и сил трения на боковых поверхностях контейнера и общего усилия прессования (рис.3.1). При этом резко меняется картина течения прессуемого металла (Рис. 3.13). Встречное движение частей периферийных слоев прессуемого металла, примыкающих к пресс-шайбе приводит к образованию в центральной части заготовки зоны 2 (Рис. 3.13) – центральной воронкообразной области (центральной пресс-утяжины). Данный механизм образования пресс-утяжины в какой-то степени аналогичен образованию воронки при сливе жидкости или сыпучих материалов и подтверждается фотографиями пресс-остатков (Рис. 2.11) и расчетами с построением линий скольжения. [18]</p>				
	Справ. №				

Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div>БР – 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>	Лис
						63
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		



Подпись и дата

ІІІ. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Перв. примен.

Справ. №

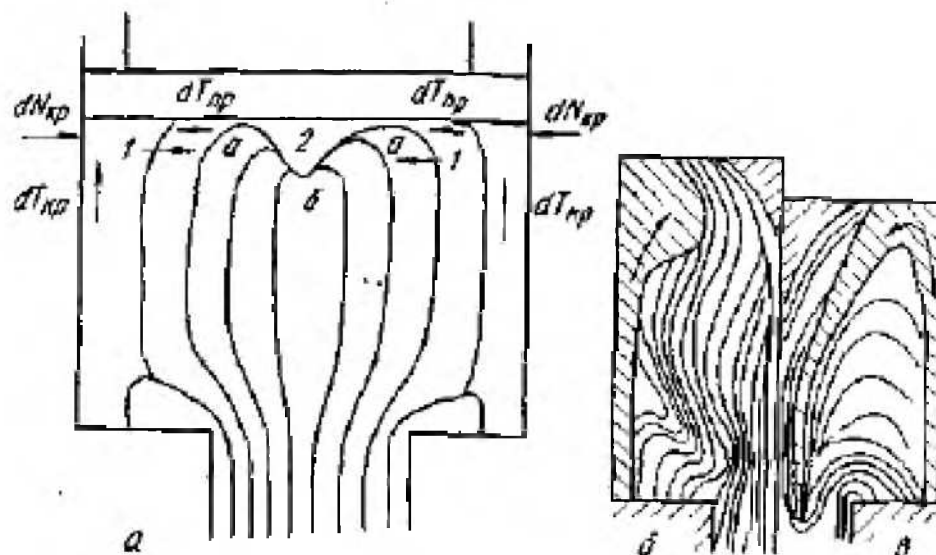


Рисунок 3.13 - Схемы силовых условий (а), течения металла на заключительной стадии прессования в начале (б) и в момент образования пресс-утяжины (в).

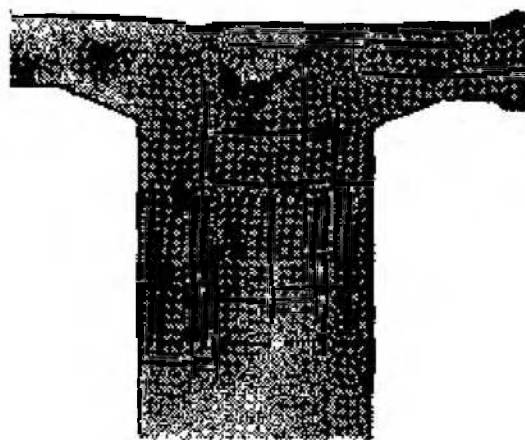


Рисунок 3.14 - Пресс-остаток с центральной пресс-утяжиной.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

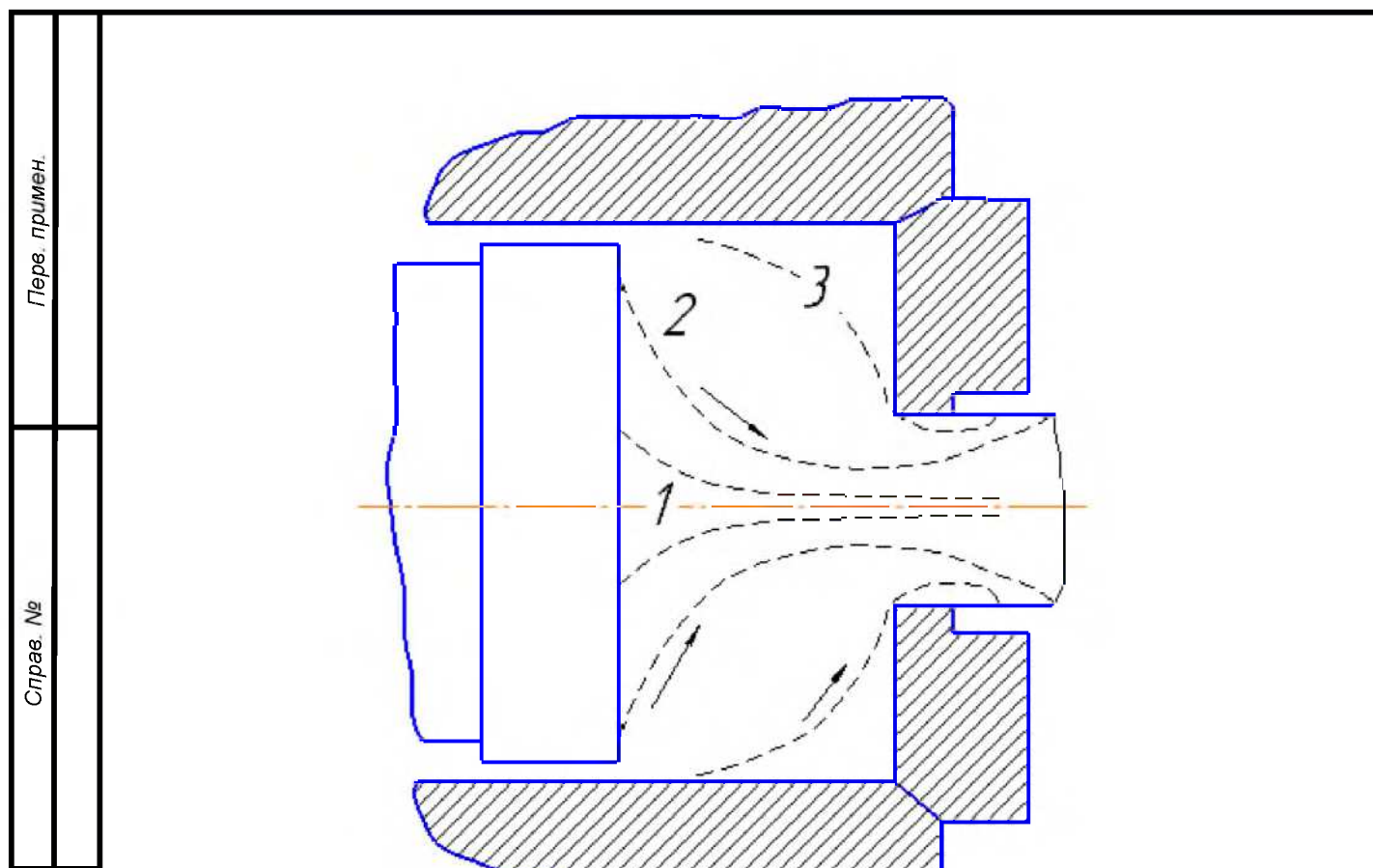
Инв. № подл.

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
------	-----	----------	---------	-----

БР - 15. 03. 01 - 071311831 ПЗ

Лис

65



1 – центральная; 2 - средняя; 3 - боковая

Рисунок 3.15 - Схемы мест зарождения различных видов пресс-утяжин

- центральная (1 на Рис. 3.15), располагающаяся симметрично оси прутка и суживающаяся к его середине;
- средняя (2 на Рис. 3.15), образующаяся от попадания в прутки металла с поверхности заготовки через объемы металла, находящиеся в углах контейнера, близлежащих к пресс-шайбе;
- боковая (3 на Рис. 3.15), образующаяся от затекания металла из упругих зон, расположенных рядом с матрицей.

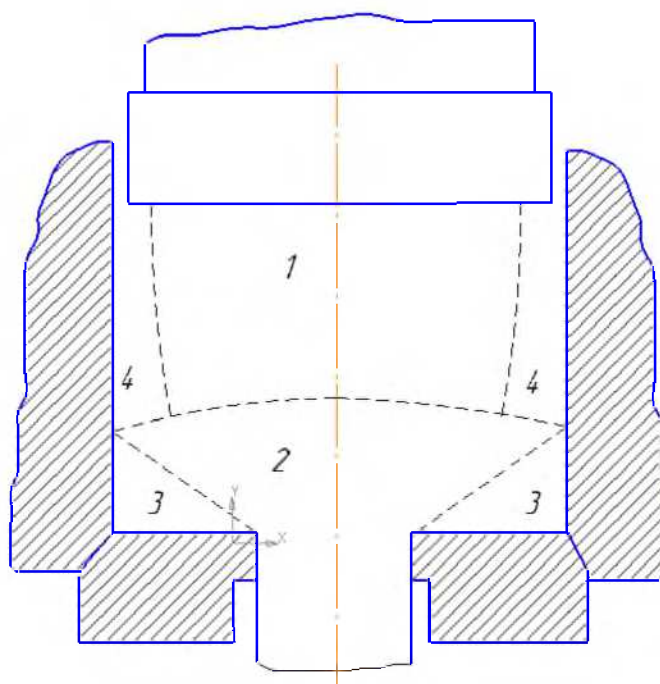
Попадание пресс-утяжины в пресс-изделие вызывает нарушение его сплошности, что приводит к браку. Поэтому прессование ведут не до полного выдавливания заготовки из контейнера, а до возможного момента попадания пресс-утяжины в пресс-изделие. При этом в контейнере остается некоторый объем прессуемого металла – пресс-остаток, высота которого изменяется в пределах:

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		Лис
					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	66

$$h_{np} = (0.1 \div 0.3)D_H \quad (3.5)$$

3.9 Влияние параметров прессования на характер течения при прямом прессовании через одноканальную матрицу

Исследования характера течения металла при прессовании показывают, что весь объем прессуемого заготовки можно разделить в общем случае на три вида зон: зону упругой деформации, пластическую (очаг деформации или ОЧПЗ) и застойные или «мертвые» зоны. На Рис. 2.13 показана схема расположения зон в заготовке.



1 - упругая зона; 2 - геометрический очаг деформации (ОЧПЗ); 3 – «мертвые» зоны; 4-приконтактный деформированный слой

Рисунок 3.16 - Зоны деформации заготовки при прессовании

Размеры зон, их расположение зависят от многих факторов. Так, при прессовании через конические матрицы с достаточно малыми углами конусности мертвых зон может вообще не быть. Положение границы между упругой и пластической зоной зависит от свойств прессуемого металла, величины трения между металлом и прессовым инструментом, вытяжки,

Перв. примен.	неравномерности температуры металла и др. Иногда ОЧПЗ распространяется на весь объем прессуемого металла, и тогда упругая зона практически отсутствует.				
	Чем больший объем заготовки захватывается пластической зоной, тем большие усилия прессования требуются и тем больше могут быть отклонения свойств на концах пресс-изделия. Это объясняется, в частности, тем, что в процессе прессования длина заготовки уменьшается от исходной до длины пресс-остатка, при этом постоянно меняется конфигурация пластической зоны, распределение деформаций в ней, т. е. постоянно изменяются условия формирования пресс-изделия.				
Справ. №	Конфигурация пластической зоны, показанная на Рис. 3.16, встречается в практике прессования довольно редко. Как правило, существует большое число факторов, приводящих к появлению дополнительных участков, охваченных пластической деформацией. Одним из главных возмущающих факто-ров является трение между боковой поверхностью заготовки и стенкой контейнера. Наличие трения приводит к затормаживанию движения периферийных слоев металла тем больше, чем больше удельные силы трения. При достаточно большом трении достигается полное прилипание периферийных слоев и, следовательно, скорость их перемещения становится равной нулю. Это явление используется, в частности, для ведения процесса прессования с образованием пресс-рубашки. Затормаживание периферийных слоев приводит к появлению в них интенсивных деформаций сдвига, что требует дополнительных энергозатрат. Чем выше уровень трения и интенсивнее торможение, тем в большем объеме развиваются сдвиги (зона IV на Рис. 2.13), больше величина сдвиговых деформаций в приконтактном слое, больше разница в степени деформации осевых и периферийных участков заготовки, образующих осевую и периферийную зону поперечного сечения пресс-изделия, что и приводит к различным условиям формирования вторичной структуры конечного продукта, образованию мелкозернистых или крупнозернистых ободков. Таким образом, уменьшение трения между				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					Лис
					68
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.	<p>металлом и контейнером является эффективным средством как снижения усилия прессования и соответственно энергозатрат, так и повышения качества продукции. Уменьшение сил трения наряду с большими преимуществами имеет и один весьма существенный недостаток - уменьшение протяженности упругой зоны у матрицы, которое, как показано дальше, связано с увеличением количества дефектов, переходящих с поверхности заготовки в поверхностные слои пресс-изделия. Иногда к этому недостатку добавляется и второй - загрязнение смазкой поверхности пресс-изделия. Поэтому смазки, несмотря на их положительное влияние на деформационные и силовые условия, часто не применяют.</p>
Справ. №	<p>Анализ характера течения металла при прессовании различных материалов и изделий при разных условиях позволил выделить четыре основных типа картин течения: S, A, B и C (Рис. 3.17).</p>

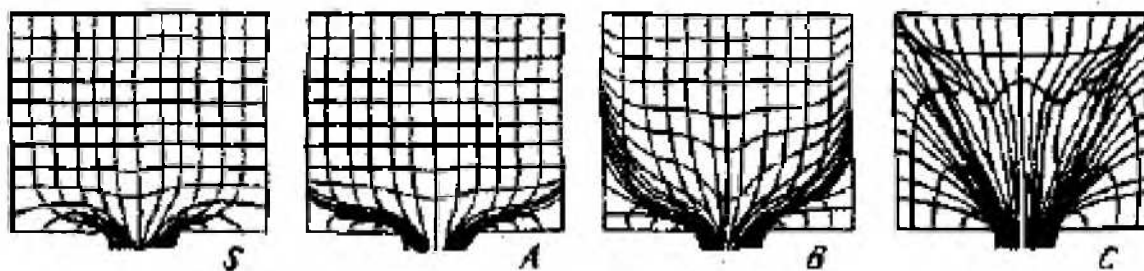


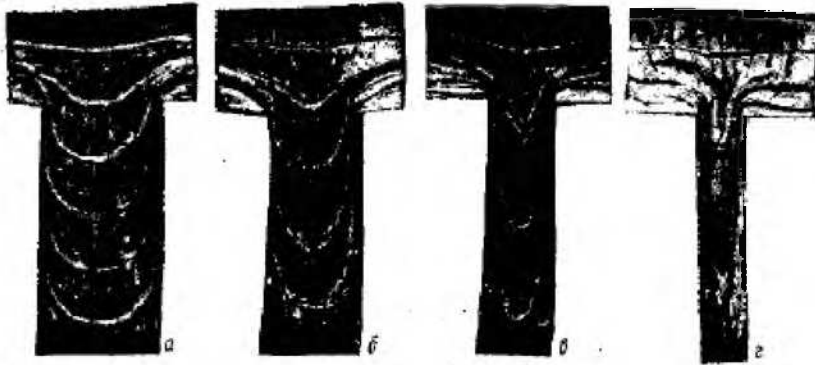
Рисунок 3.17 - Типы течения металла в контейнере при прессовании различных материалов.

Тип течения S может считаться идеальным и реализуется при практически полном отсутствии трения между металлом и контейнером. Течение металла по этому типу характеризуется отсутствием сдвиговых деформаций периферийных слоев металла почти по всей высоте заготовки, большим объемом упругой зоны, жестко перемещающейся вместе с пресс-шайбой, незначительной пластической зоной, локализованной возле матрицы, отсутствием мертвых зон, высокой степенью равномерности деформации в поперечном сечении, стабильностью силовых, деформационных и температурных условий прессования в течение всего процесса. При этом

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> <div>69</div> </div>
Изм.	Лис
№ докум.	Подпись
Дат	

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
<p>образуется минимальная осевая и не образуется вовсе боковая пресс-утяжины. Такой тип течения наблюдается при обратном прессовании через полый пресс-штемпель, когда отсутствует взаимное перемещение металла и контейнера и скорости их равны, а также при гидростатическом прессовании, когда металл вообще не соприкасается со стенками контейнера и между ними находится слой рабочей жидкости высокого давления.</p> <p>В остальных случаях наличие той или иной величины трения приводит к отклонению характера течения от идеального типа S к типам A, B или C. Реализация того или иного типа течения определяется уровнем сил трения: чем больше трение, тем дальше от идеального тип течения: A, затем B, потом C. Так, при прессовании сталей с хорошей смазкой тип течения находится между S и A. При прессовании меди без смазки на плоской матрице тип течения промежуточный между A и B. Прессование алюминия без смазки через плоскую матрицу приводит к типу течения B, а прессование латуни ЛС59-1, алюминиевых бронз и некоторых других материалов, в том числе с образованием пресс-рубашки, относится к типу течения C.</p> <p>Следует отметить, что в тех случаях, когда при прямом прессовании пластическая зона охватывает практически весь объем прессуемого слитка (типы течения B и C), сокращение длины слитка в процессе выдавливания меняет и характер распределения деформаций в различные моменты времени, приводящие к формированию различных свойств изделия по длине. Известно, что при прессовании латунных прутков различие механических свойств концов прутка может достигать 20 - 25 %. При этом наличие благоприятных условий образования осевой и периферийной пресс-утяжин приводит к необходимости недопрессовки большого пресс-остатка, либо к значительным отходам при вырезке заднего конца прутка, имеющего пресс-утяжины.</p> <p>Таким образом, для материалов, деформирующихся при прямом прессовании по типу B и C целесообразно использовать метод обратного прессования, что дает снижение при прочих равных условиях усилия прессования иногда до 50 % и уменьшение пресс-остатка в 1,5—2,5 раза.</p>					
					Лис
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					70
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.	<p>Вид пресс-остатков с координатной сеткой различных металлов наглядно показывает, что характер течения исследуемых металлов различен, и неравномерность течения возрастает с уменьшением сопротивления деформации.</p> <p>Процесс горячего прессования сплавов, имеющих фазовые превращения (латуни, титановые сплавы и т.д.), происходящих в интервале температур прессования, сопровождается также изменением характера течения прессуемого металла. Прессование, которое идет в области одной фазы (прессование латуни Л59 и титана ВТ1 при температурах 780⁰ С и 850⁰ С соответственно) более равномерно, чем прессование в двухфазной области (прессование латуни Л59 и титана ВТ1 при температурах 725⁰ С и 9500 С соответственно).</p> <p>Повышение температуры нагрева заготовки снижает усилие прессования и сопротивление деформации, но увеличивается неравномерность течения металла, которая возрастает с увеличением температурного перепада между заготовкой и контейнером. Последнее приводит к неравномерному распределению сопротивления деформации по поперечному сечению заготовки. Охлаждение периферийных слоев ведет к более быстрому течению внутренних слоев заготовки, причем данная неравномерность будет возрастать с увеличением размеров заготовки. Поэтому при горячем прессовании необходимо по возможности снижать температурный перепад между заготовкой и контейнером и применять теплоизолирующие смазки.</p> <p>Степень деформации при прессовании или вытяжку можно изменять по-разному, изменяя только диаметры прутка или заготовки, а также то и другое вместе. При прочих равных условиях увеличение вытяжки неизбежно повышает показатели неравномерности деформации сдвига периферийного слоя (углы γ_N и γ_M на рис.3.4) и увеличивает неравномерность истечения прессуемого металла. Естественно, что соответственно возрастает и неравномерность сопротивления деформации в ОЧПЗ. На Рис. 3.18 представлены изменения координатных сеток, показывающих закономерное</p>					
	Справ. №					
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div> </div>
	Лис					
						71

Перв. примен.	<p>увеличение кривизны поперечных линий в пресс-изделии с уменьшением его диаметра и увеличением вытяжки при неизменном диаметре заготовки.</p> 				
<p>Рисунок 3.18 - Изменения координатных сеток при уменьшении только диаметра прутка.</p> <p>При повышении вытяжки за счет увеличения диаметра заготовки, но при сохранении ее объема (т.е. при соответствующем уменьшении ее длины) неравномерность деформации может не только не увеличиться, а несколько уменьшиться, если уменьшение длины заготовки окажет большее влияние, чем увеличение деформации.</p> <p>На Рис. 3.20 показано изменение угла β – угла примыкания мертвой зоны к плоскости матрицы (Рис. 3.19) в зависимости от вытяжки. С увеличением вытяжки уменьшается угол β и соответственно объем мертвой зоны, что повышает равномерность течения прессуемого металла в объеме заготовки. Оценивая влияние вытяжки на неравномерность деформированного состояния, необходимо учитывать и самостоятельное влияние изменения диаметра заготовки, которое, как было указано, может вызывать одновременно взаимно противоположные воздействия на течение металла.</p>					
Подпись и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Изн. № подл.	<p>БР – 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>
Изн.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

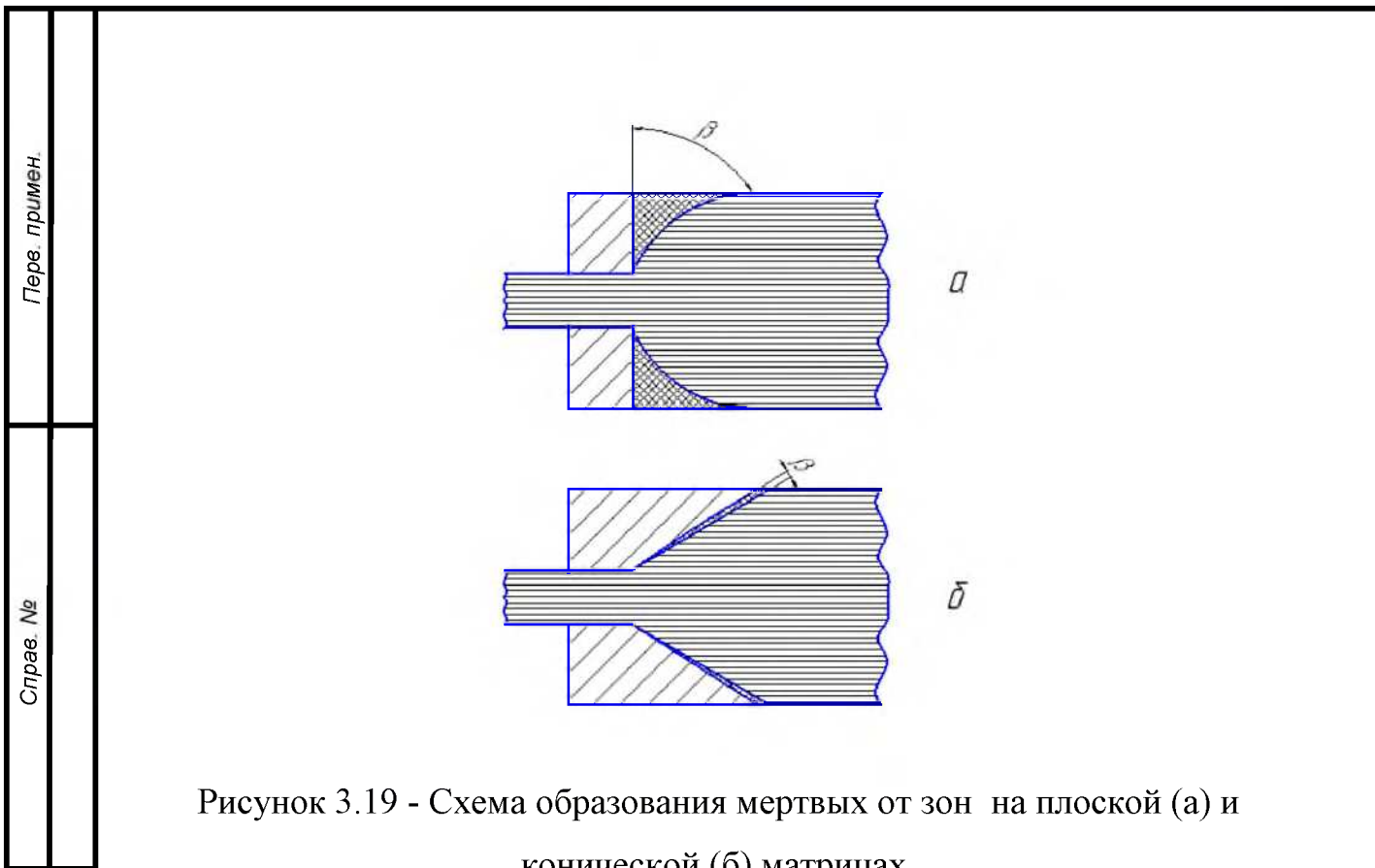


Рисунок 3.19 - Схема образования мертвых от зон на плоской (а) и конической (б) матрицах.

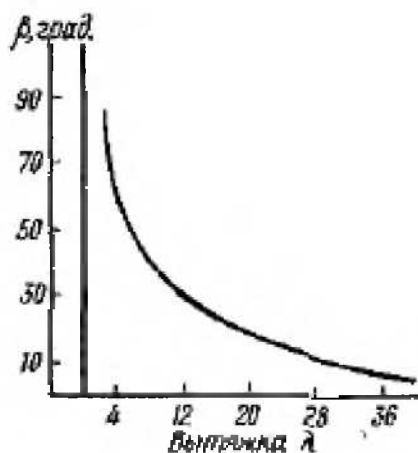


Рисунок 3.20 - Изменение угла β вытяжки.

Увеличение скорости прессования при прочих равных условиях увеличивает скорость деформации и относительные скорости перемещения отдельных объемов заготовки, т.е. повышает неравномерность течения прессуемого металла. Поэтому скорость прессования следует снижать с увеличением вытяжки при прессовании малопластичных материалов. Однако при горячем прессовании и при значительном температурном перепаде между заготовкой и контейнером увеличение скорости прессования увеличивает

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
<p>тепловой эффект деформации и уменьшает время прессования, сокращая время контакта заготовки и контейнера. Это способствует к снижению охлаждения периферийных слоев и выравниванию скоростей течения в объеме заготовки.</p> <p>В основной стадии процесса, кроме контактного трения, существенное влияние на деформированное состояние и характер течения прессуемого металла оказывает продольный профиль канала матрицы, который имеет несколько разновидностей, приведенных на рис. 3.20.</p> <p>Многочисленные опыты прессования круглых прутков через конические матрицы с различными углами, результаты которых приведены на Рис. 3.20, показывают, что с уменьшением угла уменьшаются искривления попе-речных линий координатной сетки, а с ними – и взаимные перемещения элементарных объемов кольцевых слоев и неравномерность деформации.</p> <p>Это объясняется тем, что с увеличением угла α_M возрастает угол поворота главных деформаций элементарных объемов кольцевых слоев, т. е. угол между направлениями главных деформаций у входа в ОЧПЗ и у выхода из нее, а это в свою очередь указывает на увеличение деформаций простого сдвига в осевом направлении.</p> <p>Следует отметить, что даже при отсутствии сил контактного трения (теоретически идеализированное условие) ввиду указанного обязательного изменения направлений главных деформаций прямые до прессования поперечные линии координатной сетки в процессе прессования должны изгибаться и тем больше, чем больше угол α_M. Это значит, что и в таких идеализированных условиях прессования деформации не могут быть равномерными.</p> <p>Наибольшая неравномерность деформаций и различие в скоростях перемещений кольцевых слоев, как это видно на Рис. 3.20, наблюдается при прессовании через плоскую матрицу с углом $\alpha_M = 90^\circ$. Однако с уменьшением угла α_M неравномерность деформаций уменьшается лишь в интервале практически применяемых величин этого угла. При очень большом</p>					
<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> </div>					
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	74

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

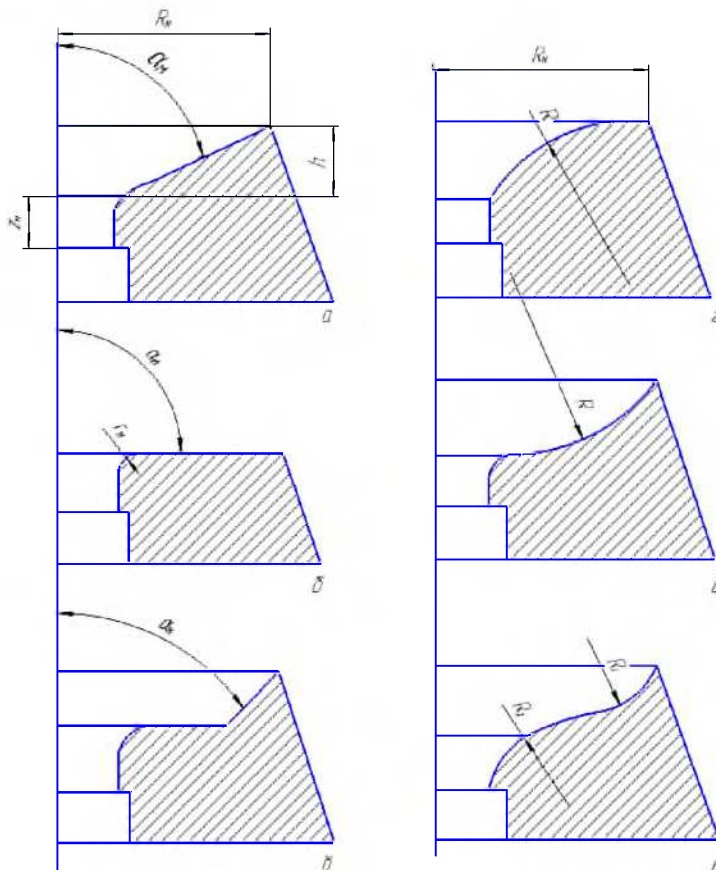
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

уменьшении этого угла в связи с резким увеличением контактной поверхности
 неравномерность деформации может возрасти, причем тем интенсивнее, чем
 больше напряжения трения.



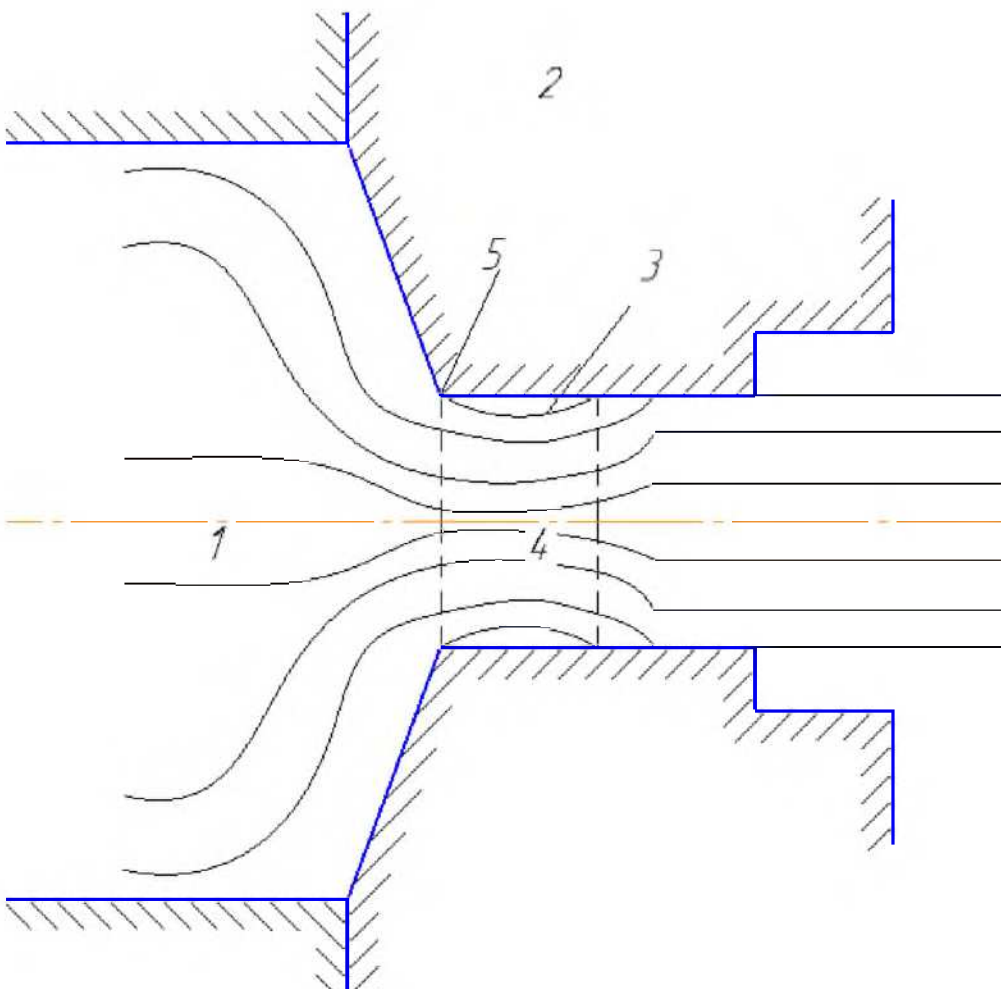
а - коническая; б - плоская; в - плоскоконическая; г - выпуклая;
 д - вогнутая; е - сигмоидальная

Рисунок 3.21 - Калибровки прессовых матриц.

Перв. примен.	<div data-bbox="462 190 1252 772" data-label="Image"> </div>				
<p>а - $\alpha_M = 90$; б - $\alpha_M = 60$; в - $\alpha_M = 45$; г - $\alpha_M = 30$; д - $\alpha_M = 25$</p> <p>Рисунок 3.22 - Влияние угла матрицы α_M на изменение координатной сетки</p> <p>Это указывает на существование оптимального угла $\alpha_M = 45-60$, при котором неравномерность деформации и давление прессования будут минимальными.</p> <p>В основной стадии процесса прессования через плоскую матрицу без смазки металл, находящийся в периферийной части заготовки, т. е. непосредственно контактирующий с контейнером, задерживается у начала упругой зоны, не попадая в обжимающую часть пластической зоны и в поверхностные слои пресс-изделия. При таком течении концы поперечных линий координатной сетки не выходят на поверхность пресс-изделия, а собираются у начала упругой зоны, что хорошо видно на рис.3.7. Вызывая большую неравномерность деформации, такой процесс исключает возможность попадания в поверхностные слои пресс-изделия поверхностных дефектов заготовки, что значительно повышает качество пресс-изделия, за исключением переднего его конца, который, как уже было показано, деформируется заметно меньше. При конической матрице и, особенно, со смазкой на поверхности контейнера и матрицы вследствие уменьшения продольных сдвигов дефекты поверхностных слоев заготовки будут вовлекаться в поверхностные слои пресс-изделия.</p>					
Подпись и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Изн. № подл.	<div data-bbox="885 2116 1300 2161" data-label="Text"> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div>
Изн. № подл.	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Изн. № подл.	Изн. № дубл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.					
Справ. №					
<p>Важным элементом матрицы является калибровка, которая определяет кинематику процесса истечения металла. Калибровка матриц включает профилировку обжимного участка АВ, выбор радиуса перехода r_M, определение длины калибрующего пояса l_{Π} (Рис. 3.21, а). Профиль обжимного участка определяется законом, который закладывается в его построение; при этом исходят из распределения в очаге скоростей, напряжений, деформаций или других параметров [31]. В зависимости от этого получают матрицы с вогнутым, выпуклым, сигмоидальным или другими видами профиля обжимного участка (Рис. 3.21).</p> <p>При условии постоянства обжатия деформируемого металла на единицу высоты профиль обжимного конуса описывается уравнением:</p> $R_x = R_k \exp\left(\frac{x}{h} \ln \frac{r_0}{R_k}\right) \quad (3.6)$ <p>При сохранении постоянства усредненной скорости деформации по высоте матричной воронки уравнение имеет следующий вид:</p> $R_x = R_k \left[1 + (\lambda - 1) \frac{x}{h}\right]^{-0.5} \quad (3.7)$ <p>При условии наименьшей неравномерности пластического течения металла на выходе из ОЧПЗ профиль образующей матричной воронки будет описываться гиперболической зависимостью:</p> $R_x = \sqrt{(R_k^2 - r_0^2) * (x/L)^2 + r_0^2} \quad (3.8)$ <p>Матрица в этом случае будет иметь обжимной конус с выпуклым профилем (Рис. 3.21, г).</p> <p>Выполнение условий наименьшей энергоемкости приводит к следующему виду уравнения кривой профиля матрицы:</p> $R_x = R_k - R_{k0} \arccos\left(1 - \frac{x}{R_{k0}}\right) - \sqrt{2R_{k0}x - x^2} \quad (3.9)$					
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	Лис
					77

Перв. примен.	<p>Это уравнение обеспечивает получение вогнутого профиля матричной воронки (Рис. 3.21, д).</p> <p>Как выпуклый, так и вогнутый профиль можно получить с помощью дуг окружностей проведенным радиусом R из соответствующих точек (Рис. 3.21).</p>													
	Справ. №	<p>Для вогнутой матрицы характерна наибольшая величина гидростатического давления в ОЧПЗ, что благоприятно сказывается при прессовании малопластичных сплавов. У выпуклой матрицы меньше неравномерность распределения интенсивности деформации в изделии и ниже нормальные напряжения при переходе из ОЧПЗ в калибрующий пояс, т.е. выше стойкость. Преимущества вогнутой и выпуклой образующих матричной воронки обеспечивает сигмоидальный профиль (Рис. 2.18, е), построение которого возможно сопряжением дуг окружностей радиусами соответствующей кривизны.</p>												
Подпись и дата		<p>Изменение величины радиусного перехода r_M от конической части матрицы к калибрующему пояску не сказывается на давлении прессования, но качество поверхности пресс-изделия ухудшается. При увеличении r_M от 1 до 30 мм величина микронеровностей при прессовании сталей увеличилась с 15 до 24 мкм.[31]</p>												
	Инв. № дубл.	<p>Обжимающая часть матричных каналов, как правило, переходит в калибрующую (калибрующий пояс). Для установления влияния калибрующего пояса на процесс деформации следует прежде всего иметь в виду возможность внеконтактной деформации, т. е. некоторого уменьшения диаметра прутка после его выхода из ОЧПЗ, показанного на Рис. 3.23.</p>												
Взам. инв. №		<p>Такая деформация появляется вследствие невозможности очень крутых (в виде ломаных линий) поворотов прессуемого металла около острой кромки 5 у начала пояса (Рис. 3.23). После выхода пресс-изделия из канала упругое последствие частично или полностью восстанавливает размеры его</p>												
	Подпись и дата													
Инв. № подл.														
	<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат				
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат										
<div style="text-align: right;">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>														
<div style="text-align: right;">Лис</div>														
<div style="text-align: right;">78</div>														

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>поперечного сечения.</p>  <p>1 –прессуемый металл; 2 –матрица; 3 – калибрующий поясок; 4 – зона внеконтактной деформации; 5 – острая кромка вначале пояска</p> <p>Рисунок 3.23 - Схема внеконтактной деформации на выходе из ОЧПЗ</p> <p>Аналогом внеконтактной деформации может служить сужение струи реальной жидкости при ее истечении из сопла. Для предупреждения образования такой деформации, которая может быть причиной отклонения размеров поперечного сечения пресс-изделий от тех, которые определяются номинальными размерами калибрующего канала матрицы, образующую пояска ненагруженной матрицы делают наклонной к его оси под углом 1- 3°. Это необходимо также и потому, что матрица, особенно плоская, будучи в процессе прессования нагруженной, деформируется, прогибаясь в направлении</p>			
							<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Изм.	Лист	№ докум.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат						

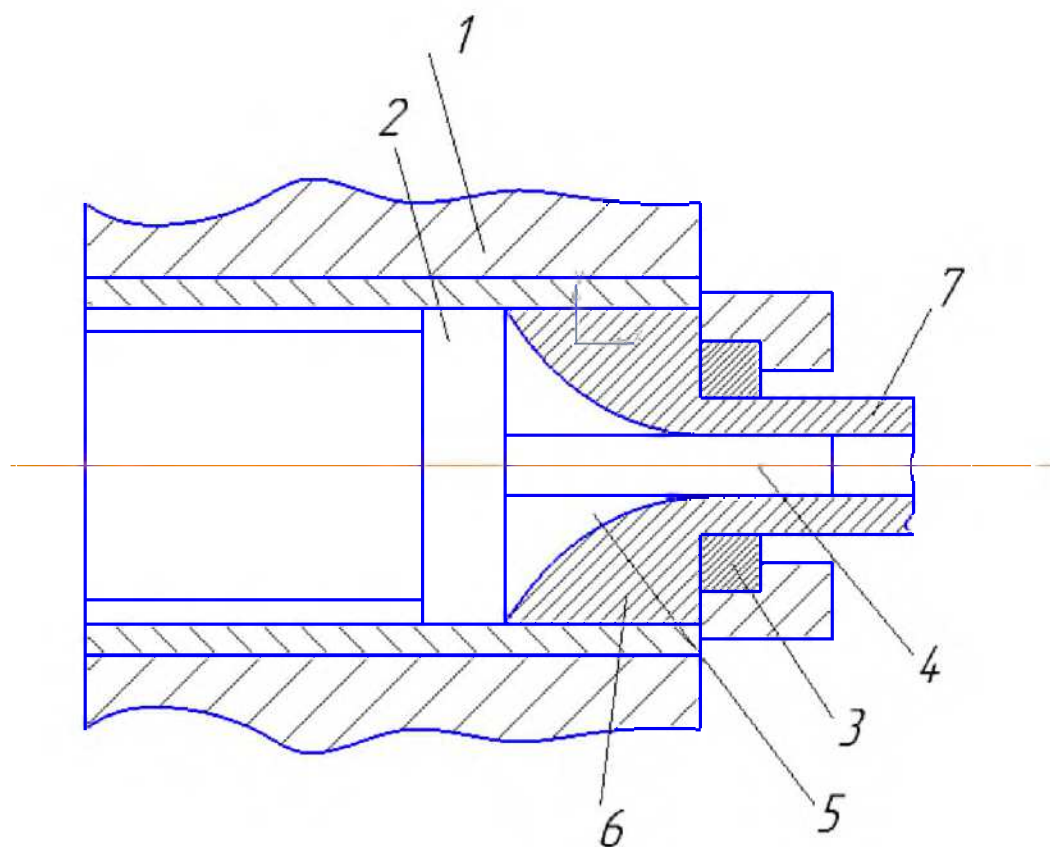
Перв. примен.					
Справ. №					
<div>Подпись и дата</div> <div>Инв. № дубл.</div> <div>Взам. инв. №</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Инв. № подл.</div>	<p>прессования. При этом канал у выхода из пояска несколько увеличивается. Если поясек ненагруженной матрицы делать строго цилиндрическим, то в процессе прессования его поверхность может стать конической, расширяющейся к выходу, и поясек не выполнит своего калибрующего назначения.</p> <p>Величина указанного угла наклона зависит от условий прессования и упругой деформации матрицы. Из приведенной схемы следует, что независимо от зоны внеконтактной деформации основное силовое воздействие калибрующего пояска на прессуемый металл заключается в торможении контактными силами трения выходящего из матрицы металла. Вследствие целостности металла создается соответствующее силовое противодействие (подпор) выходу металла из ОЧПЗ, и этим несколько уменьшается опережение периферийных слоев внутренними и уменьшается неравномерность деформации.</p> <p>Путем увеличения длины пояска подпор можно значительно увеличить. Это создаст дополнительное гидростатическое давление в пластической зоне и тем самым уменьшит вероятность возникновения трещин, особенно при прессовании хрупких металлов и сплавов. Следует иметь в виду, что при одинаковом характере влияния длины калибрующего пояска интенсивность влияния для различных металлов и сплавов в зависимости от условий трения на контактной поверхности может быть различной. Например, при прессовании алюминиевых сплавов без смазки длина калибрующего пояска влияет на скорость истечения более интенсивно, чем при прессовании медных сплавов, для которых характерно смазывающее действие присутствующих на матрице окислов меди.</p> <p>Силы трения, возникающие на поверхности пояска, хотя относительно и невелики по сравнению с остальными реактивными силами, но работа, расходуемая на их преодоление, довольно значительна в связи с большими скоростями истечения. Поэтому, когда отсутствует необходимость в создании силового подпора, иногда применяют матрицы практически</p>				
<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>					
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	Лис
					80

Пере. примен.	<p>беспоясковые. При таких матрицах ввиду уменьшения контактной поверхности увеличивается вероятность получения пресс-изделий с более гладкой поверхностью.</p> <p>Уменьшение расхода энергии и вероятность улучшения качества поверхности могут компенсировать расходы, связанные с понижением стойкости матриц или с необходимостью применения для матриц более стойкого, а поэтому и более дорогого материала.</p> <p>Некоторое влияние на взаимное перемещение кольцевых слоев оказывает форма контактной поверхности пресс-шайбы. При вогнутой контактной поверхности пресс-шайбы неравномерность конечных (без учета демонотонности) деформаций несколько меньше, чем при плоской, так как в начале процесса продольное перемещение периферийных кольцевых слоев начинается несколько раньше, чем внутренних (осевых), что впоследствии приводит к некоторому уменьшению конечных продольных деформаций простого сдвига. Однако при такой форме пресс-шайбы уменьшается неравномерность деформации, но увеличивается количество металла в пресс-остатке. Поэтому применение таких пресс-шайб, за исключением в процессе полунепрерывного прессования, практического применения не нашли.</p> <p>Следует отметить, что перечисленные факторы взаимосвязаны. Например, с изменением температуры изменяется реология прессуемого металла, его физические и механические свойства, структура. Это в свою очередь влияет на внутреннее и внешнее трение, на характер течения металла и т.д. Поэтому условия прессования всегда определяются не отдельно взятым фактором, а их совместным воздействием на кинематику процесса истечения прессуемого металла.</p>									
	Справ. №									
Подпись и дата										
	Инв. № дубл.									
Взам. инв. №										
	Подпись и дата									
Инв. № подл.										
	<p>3.10 Течение металла при прямом прессовании труб и полых профилей через плоские матрицы</p> <p>При прессовании труб прямым истечением через простую матрицу необходимо, чтобы заготовка имела осевую полость, через которую</p>									
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> </table>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат						
					<p>Лис</p> <p>81</p>					

Перв. примен.					
Справ. №					
<div>Подпись и дата</div> <div>Изн. № дубл.</div> <div>Взам. изв. №</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Изн. № подл.</div>					
<p>должна проходить оправка (игла), образующая вместе с матрицей кольцевой канал.</p> <p>Данная полость может быть образована прошивкой металла иглой и рядом других способов, например отливкой полой заготовки, высверливанием и прошивкой. Способ получения полости в заготовке практически на характере течения прессуемого металла не сказывается, но влияет на качество внутренней поверхности трубы.</p> <p>Результаты исследования кинематики пластического течения металла при прессовании труб подтверждают то, что соблюдаются основные закономерности течения, установленные при анализе процесса прессования прутков и профилей сплошного сечения.</p> <p>Такие общие закономерности, как коренное изменение характера течения металла с изменением условий трения на контактных поверхностях металла с инструментом, прямая зависимость длины заторможенной зоны от угла входного конуса матрицы, влияние вытяжки и условий трения на неравномерность деформации металла и др., наблюдаются, как при прессовании сплошных профилей, так и при прессовании труб. Однако силы контактного трения по поверхности иглы оказывают влияние на течение металла в слоях, находящихся в непосредственной близости к игле, и вызывают в этих слоях дополнительные сдвиговые деформации.</p> <p>В рассматриваемом процессе прессуемый металл опережает оправку даже в тех случаях, когда она закреплена на пресс-штемпеле и движется вместе с ним и прессуемой заготовкой. Это происходит потому, что в ОЧПЗ осевая скорость движения металла больше скорости заготовки. Поэтому основная особенность рассматриваемого варианта процесса - дополнительные (по сравнению с прессованием круглого прутка) деформации от трения металла об оправку, которые замедляют течение металла в слоях, находящихся в непосредственной близости к оправке и в контакте с ней.</p> <p>В результате указанного замедления опережающими являются слои, находящиеся в некотором отдалении от оправки – в толще стенки трубы. На</p>					
					Лис
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					82
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.	рис. 3.24 приведен образец трубы, выпрессованный из слоистой заготовки (медь – нержавеющая сталь) с применением оправки, закрепленной в пресс-штемпеле, на котором ясно видны результаты трения металла об оправку.				
					
Справ. №	<p>Рисунок 3.24 - Изменение структуры многослойной заготовки (медь – сталь) при прямом прессовании с подвижной иглой</p> <p>Очевидно, что степень влияния сил контактного трения по поверхности иглы на течение металла должна зависеть от свойств применяемой смазки, характера движения иглы в процессе прессования, температуры иглы и соотношения ее диаметра и толщины стенки заготовки.</p> <p>По интенсивности скольжения металла относительно оправки, а отсюда и по интенсивности дополнительных деформаций от трения об оправку в зависимости от осевого перемещения оправки в процессе прессования относительно матрицы (и контейнера) можно различить три разновидности процесса:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оправка неподвижна, а пресс-штемпель может перемещаться вдоль нее (независимое положение оправки); скольжение и деформация от трения об оправку максимальны; • оправка закреплена так, что ее осевое перемещение относительно пресс-штемпеля невозможно, и она движется вместе с ним (подвижная оправка); скорость скольжения металла по той части оправки, которая находится в контейнере, при прочих равных условиях по сравнению с первой разновидностью заметно уменьшается, оставаясь примерно 				
Подпись и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Изн. № подл.	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ
Изн. № подл.	Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	

4. Невозможность образования центральной пресс-утяжины. Следует отметить, ее образование иногда возможно в толще стенок только при прес-совании толстостенных труб. Представление о механизме образования такой пресс-утяжины может дать схема на рис. 3.25.
5. Вследствие более равномерного истечения прессуемого металла высота пресс-остатка при прямом прессовании труб в 2-3 раза меньше, чем при прямом прессовании прутков и профилей.
6. Для повышения равномерности истечения полых профилей проводят такие же мероприятия, как и для сплошных профилей.



1- контейнер; 2 – пресс-шайба; 3 – матрица; 4 -оправка; 5 – пресс-утяжина;
6– заготовка; 7 – труба

Рисунок 3.25 - Схема образования пресс-утяжины при прессовании толстостенной трубы

Главным определяющим признаком процесса обратного прессования в отличие от прямого состоит в отсутствии перемещение основного объема

Перв. примен.		Справ. №	<p>прессуемого металла заготовки относительно контейнера, при этом возможны следующие случаи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • контейнер и заготовка неподвижны, а матрица перемещается под действием полого пресс-штемпеля, на котором она установлена; • контейнер и заготовка движутся с одинаковой скоростью на неподвижную матрицу, установленную на неподвижном пресс-штемпеле. <p>При обратном прессовании только часть металла, находящаяся в ОЧПЗ, перемещается относительно контейнера. На остальной части заготовки, не входящей в ОЧПЗ, силы трения на боковой поверхности отсутствуют. Это существенно изменяет силовые условия и напряженно-деформированное состояние заготовки по сравнению с прямым прессованием .</p> <p>По изменению силовых и деформационных условий и соответствующих им картин течения прессуемого металла для процесса обратного прессования также, как и для прямого, можно выделить три основных стадии (рис. 3.27):</p> <ul style="list-style-type: none"> • начальная стадия процесса, когда происходит распрессовка заготовки в контейнере и заполнение прессуемым металлом рабочего канала матрицы, при этом резко возрастает рабочее усилие; • основная стадия процесса, характеризующая установившимся течением металла и постоянным усилием прессования; • заключительная стадия, во время которой нарушается установившееся течение металла, и происходит резкое увеличение давления прессования при переходе в заключительную стадию по той же причине, что и при прессовании с прямым истечением (резкое увеличение скоростей скольжения на поверхностях дна контейнера и торца матрицы). <p>Следует отметить, что рост усилия в конце основной стадии процесса обратного прессования происходит позднее, чем при прямом прессовании, т.к. ОЧПЗ при обратном прессовании имеет меньшую протяженность.</p>				
Подпись и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата	
Инв. № подл.							
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <p>Изм.</p> <p>Лис</p> <p>№ докум.</p> <p>Подпись</p> <p>Дат</p> </div> <div> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> <p>86</p> </div> </div>							

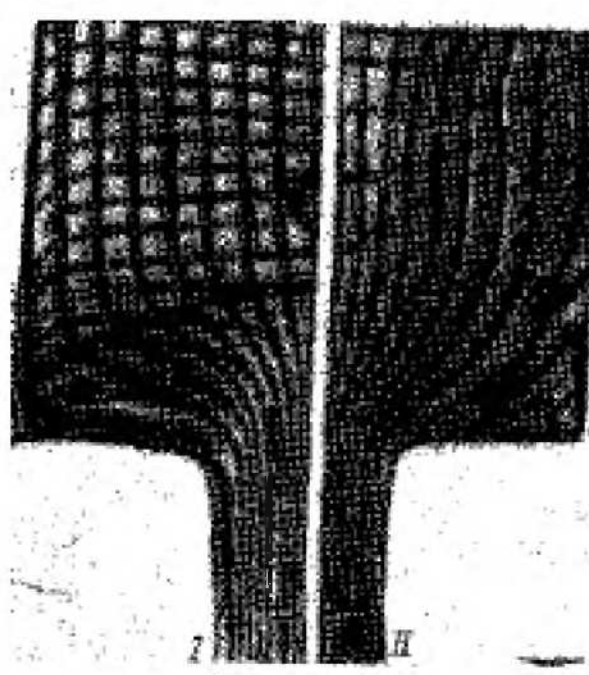
Перв. примен.	
Справ. №	

Рисунок 3.26 - Сравнение изменений координатных сеток при прессовании с обратным (I) и прямым (II) истечением при прочих равных условиях.

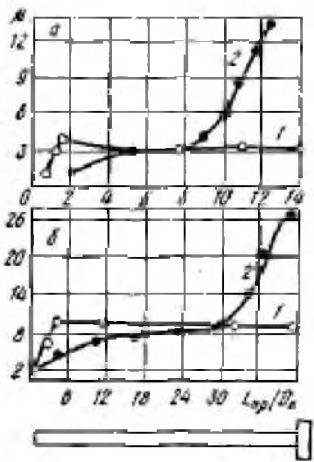
Подпись и дата	
Инв. № дубл.	

1 - с обратным истечением; 2 - с прямым истечением

Рисунок 3.27 - Схемы индикаторных диаграмм прессования с прямым и обратным истечением (при прочих равных условиях)

Главной особенностью обратного прессования является то, что пластическая деформация заготовки начинается около самой матрицы. Плоские поперечные слои начинают изгибаться только вблизи матрицы, при этом наблюдается двойной изгиб этих слоев: один – периферийный с прогибом к пресс-шайбе, а другой – центральный с прогибом в направлении истечения

Инв. № подл.	<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> <div>87</div> </div>
Изм.	<div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div>

Перв. примен.	<p>металла. Удаленные от матрицы поперечные слои заготовки остаются недеформированными до подхода к ОЧПЗ. Изгибы продольных линий координатной сетки более интенсивны и начинаются на более поздней стадии процесса, чем при прямом прессовании. Поэтому, при прочих равных условиях начало образования центральной пресс-утяжины при обратном прессовании начинается позднее, чем при прямом прессовании со смазкой, и значительно позже, чем при прямом прессовании без смазки. Это позволяет уменьшить высоту пресс-остатка примерно в два раза:</p> $h_{np} = (0.08 \div 0.15)D_H \quad (3.10)$ <p>Локализация пластических деформаций около матрицы заметно уменьшает неравномерность деформаций в изделии, отпрессованном с обратным истечением, особенно по его длине, так как каждый из поперечных слоев, кроме торцовых, испытывает практически одинаковые деформации.</p> <p>Это ясно видно из сравнения деформированных состояний двух образцов, отпрессованных при прочих равных условиях (рис. 3.28):</p>				
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата	<p>а – вытяжка 10, пруток диаметром 40 мм; б – вытяжка 4,3; пруток диаметром 62 мм; 1 - прессование с обратным истечением; 2 – прессование с прямым истечением</p>				
Инв. № подл.	<p>Рисунок 3.28 - Распределение вытяжек по ячейкам осевых слоев координатной сетки по длине прутка в центре сечения</p>				
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> <div>88</div>

Перв. примен.	<p>При прессовании с обратным истечением пресс-штемпель представляет собой полый цилиндр, через который проходит пресс-изделие. Если его наружный диаметр оставить равным диаметру пресс-штемпеля для прямого истечения, необходимого для прессования того же профиля, то очевидно, что напряжения в пресс-штемпеле для обратного истечения могут превысить допустимые величины. Поэтому такой пресс-штемпель следует изготавливать большего диаметра, чем пресс-штемпель для прямого истечения. Это в свою очередь вызывает повышение вытяжки и необходимость увеличения давлений прессования. Увеличение наружного диаметра пресс-штемпеля для прессования с обратным истечением с целью достижения допустимой напряженности в ряде случаев невозможно из конструктивных соображений, и это может явиться одной из причин ограниченного применения рассматриваемой разновидности процесса на существующих прессах.</p>								
						Справ. №			
Подпись и дата Инв. № дубл. Взам. инв. № Подпись и дата Инв. № подл.	<p>Изложенные особенности прессования с обратным истечением позволяют при условии обеспечения сравнительно высокого качества поверхности заготовок или при отсутствии особо жестких требований к качеству поверхности пресс-изделий определить области целесообразного применения процесса при необходимости:</p> <ul style="list-style-type: none"> а. увеличения длины пресс-изделий, а значит, и увеличения длины заготовок; б. при недостаточном максимальном давлении, развиваемом прессом для прессования с прямым истечением, или в целях уменьшения потерь на контактное трение; в. понижения начальной температуры заготовки и, как следствие, повышения скоростей истечений при прессовании; г. уменьшения неравномерности деформации пресс-изделия, выравнивания его свойств по сечению и длине; уменьшения периферийного крупнокристаллического ободка для ряда металлов и сплавов; прессования крупно-габаритных прутков с небольшими вытяжками и сохранения при 								
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; flex-grow: 1;"> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div style="width: 100px; text-align: center;"> <p>Лис</p> <p>90</p> </div> </div>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат					

Пер. примен.	<p>этом сравнительно высоких механических свойств в осевой части пресс-изделий</p> <p>д. максимального сокращения отходов ввиду высокой стоимости их переработки.</p> <p>Ограничивающими применение процесса условиями, помимо указанных, являются необходимость значительного хода контейнера и трудность отделения пресс-остатка ножом пресса.</p>				
	Справ. №	<p>3.11 Определение геометрии пластической зоны, длительности и скорости деформации</p> <p>Одним из основных показателей процессов обработки металлов давлением и, в частности, процесса прессования является скорость деформации $\dot{\epsilon}$, представляющая собой градиент нарастания величины деформации во времени:</p> $\dot{\epsilon} = d\epsilon/d\tau \quad (3.11)$ <p>или, переходя к средней ее величине:</p> $\dot{\epsilon} = \epsilon/\tau \quad (3.12)$ <p>где ϵ - степень</p> <p>τ - длительность деформации соответственно.</p> <p>Ввиду высоких значений деформаций, реализуемых в процессе прессования, за величину ϵ целесообразно принимать интегральную деформацию $\epsilon = \ln \lambda$, где λ — коэффициент вытяжки.</p> <p>При прессовании величина τ представляет собой время нахождения металла в ОЧПЗ:</p> $\tau = V_{\text{ОЧПЗ}}/V_{\text{сек}} \quad (3.13)$			
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.
	<div>Лис</div>				
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	91

Перв. примен.	<p>где $V_{\text{сек}}$ - секунднй объем металла:</p> $V_{\text{сек}} = F_k * v_{\text{пр}} = F_{\text{пр}} * v_{\text{ист}} \quad (3.14)$ <p>где F_K и $F_{\text{ПР}}$ - площади поперечного сечения контейнера и пресс-изделия соответственно;</p> <p>$V_{\text{пр}}$ и $V_{\text{ист}}$ - скорости движения пресс-штемпеля и истечения пресс-изделия из канала матрицы соответственно.</p> <p>Таким образом, одним из важнейших параметров, определяющих величину длительности деформации, является объем ОЧПЗ, для вычисления которого необходимо построение поверхностей (в плоскости чертежа линий), ограничивающих указанный объем.</p> <p>При прессовании профиля сплошного сечения из сплошной заготовки ОЧПЗ выделена тремя границами: передней, наружной боковой и задней.</p> <p>При прессовании пустотелого профиля из полй заготовки появляется дополнительная внутренняя боковая граница ОЧПЗ. Однако, поскольку последняя однозначно определяется геометрией иглы, при прессовании и сплошных, и полых профилей задача заключается в определении геометрии передней, задней и наружной боковой границ ОЧПЗ.</p> <p>Понятие «граница» ОЧПЗ в значительной степени условно, так как построить какую-то поверхность (в плоскости чертежа линию), строго отделяющую зону пластического течения от зоны, находящейся преимущественно в упругом состоянии, течение которой интенсивно заторможено, в условиях пластической деформации в общем случае, по-видимому, невозможно.</p> <p>Так, например, для строгого ее построения наружная боковая граница ОЧПЗ должна быть местом скола, т. е. линией нарушения целостности металла, как это наблюдается, например, при прессовании легированных магниевых или титановых сплавов. При отсутствии скола граница должна представлять зону перехода от упругой к пластической деформации. Причем, если между объемами металла, находящимися по разные стороны от «границы», нет</p>					
	Справ. №					
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>
	<div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div>					
						Лис
						92

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					

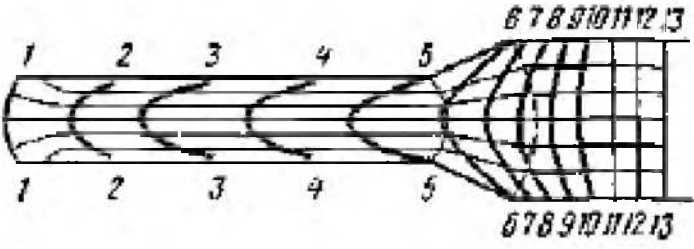
существенного смещения, то «граница» будет выражена нечетко, а если наблюдаются интенсивные смещения, то область границы будет представлять зону интенсивной деформации. Последнее должно отчетливо выявляться на протравленном продольном шлифе заготовки, заторможенной в контейнере в процессе прессования.

Одной из наиболее известных работ определения геометрии границ ОЧПЗ представляется методика, предложенная Ю. П. Глебовым для процесса прессования с прямым истечением со смазкой. Согласно этой методике задняя граница ОЧПЗ может быть представлена, как геометрическое место точек начала искривления продольных линий координатной сетки, первоначально параллельных оси прессования – линия ABC на рис. 3.29

Рисунок 3.29 - Схема деформации координатной сетки при прямом прессовании со смазкой.

Переднюю границу ОЧПЗ рекомендуется определять, как геометрическое место точек выпрямления криволинейных линий тока в конце пластической зоны – линия DEF на рис. 60. Угол DEF составляет 90—100°, что соответствует рекомендациям В. Джонсона и Х. Кудо, а также А.Д. Томленова для выдавливания в условиях плоской деформации. И.Л. Перлин показал, что передняя граница ОЧПЗ с достаточной точностью может быть представлена дугой окружности, концентрично описывающей заднюю границу ОЧПЗ и проходящей через крайние точки входа в канал матрицы – пунктирная линия 5—5 на рис. 3.29.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Лис

Перв. примен.						
Справ. №						
<div>Подпись и дата</div> <div>Инв. № дубл.</div> <div>Взам. инв. №</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Инв. № подл.</div>	<div>  </div> <div> <p>Рисунок 3.30 - Схема деформации координатной сетки при прямом прессовании через коническую матрицу</p> <p>Наружная боковая граница ОЧПЗ при прессовании со смазкой в коническую матрицу с углом менее 60° практически полностью определяется конфигурацией входной воронки матрицы. Единственно в углах перехода от стенок контейнера к конусу матрицы образуются небольшие застойные зоны, заполненные смазкой.</p> <p>Рекомендации Ю. П. Глебова, по-видимому, можно использовать и для определения задней и передней границ ОЧПЗ при прессовании с обратным истечением, поскольку в этом процессе, как указано выше, ОЧПЗ расположена непосредственно около матрицы, а до этой стадии заготовка в контейнере не перемещается и представляет собой практически недеформируемое (жесткое) тело.</p> <p>Однако распространение этих рекомендаций на прессование с прямым истечением без смазки вызывает затруднения. Даже при самых малых зазорах между контейнером и заготовкой координатная сетка с самого начала процесса прессования претерпевает существенную деформацию, что объясняется значительной неравномерностью деформации по сечению заготовки: периферийные слои получают значительно более высокие сдвиговые деформации, чем центральные, что приводит к искажению координатной сетки с самого начала истечения.</p> <p>По мере прохождения процесса прессования деформация к определенному сечению по длине заготовки представляет сумму</p> </div>					
	<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>Лис</div> </div>					
	Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	94

Перв. примен.		Справ. №	<p>деформаций, полученных в ходе прессования. Это приводит к увеличению неравномерности деформации по сечению заготовки.</p> <p>Более обоснованно определение наружной боковой границы ОЧПЗ дано И.Л. Перлиным. В его работах показано, что эта кривая должна представлять линию кратчайшего спуска – брахистохрону, описываемую уравнением циклоиды. Тогда средневзвешенный угол наклона образующей ОЧПЗ к оси прессования составит:</p> $\alpha_{\text{ср.взв}} = \arctg \pi/2 = 57,5^\circ \quad (3.15)$ <p>Эта величина экспериментально подтверждена при прессовании сплошных профилей, при прессовании со сваркой через комбинированную матрицу с выступающим рассекателем и при прессовании ребристых труб.</p> <p>Таким образом, можно считать, что при прессовании с прямым истечением без смазки, независимо от способа прессования, образующая наружной боковой границы ОЧПЗ близка к циклоиде, и средневзвешенный угол наклона ее к оси прессования $\alpha_{\text{ср. взв}} = 60^\circ$.</p> <p>Выше указано, что задняя граница ОЧПЗ вследствие невозможности ее теоретического построения, строится на основе гипотетических положений.</p> <p>Одна из таких гипотез заключается в представлении задней границы при прессовании из сплошной цилиндрической заготовки в виде сферической поверхности с радиусом, равным расстоянию от точки пересечения боковой границы с поверхностью контейнера до оси прессования – линия ABC на рис.3.31, а передней границы в виде сферической поверхности с радиусом, равным расстоянию от точки A' до оси прессования - линия A'B'C'.</p>						
Подпись и дата		Инов. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инов. № подл.	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <p>Изм.</p> <p>Лис</p> <p>№ докум.</p> <p>Подпись</p> <p>Дат</p> </div> <div> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> <p>95</p> </div> </div>									

Перв. примен.	
Справ. №	

а **б**

Рисунок 3.31 - Схемы к определению объема ОЧПЗ при прессовании прутка из сплошной заготовки (а) и трубы из полый заготовки (б).

Поскольку различия в кинематике течения при прессовании круглых прутков и фасонных профилей начинают проявляться только в обжимающей части пластической зоны, то можно считать, что геометрия задней границы при прессовании профилей и прутков будет примерно одинаковой. Геометрия передней границы будет, конечно, зависеть от формы профиля. Однако вследствие того, что ее влияние на объем ОЧПЗ сравнительно невелико, особенно при прессовании со значительными вытяжками, она может быть так же, как и при прессовании круглых прутков, представлена в виде указанной сферической поверхности. На этом основании объем обжимающей части пластической зоны при прессовании профиля можно считать равным объему при прессовании равновеликого прутка. Из рис. 3.31, а находим:

$$V_{\text{очпз}} = V_1 - V_2 \tag{3.16}$$

где V_1 и V_2 - объемы шаровых секторов OABC и OA'B'C' соответственно.

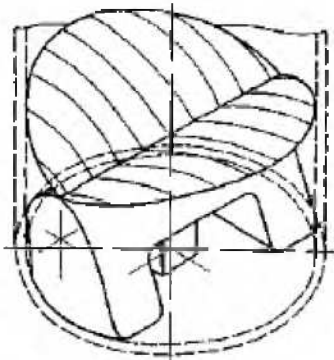
В конечном виде после преобразований:

$$V_{\text{очпз}} = \frac{\pi}{12} * \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^3 \alpha} (D_H^3 - D_K^3) \tag{3.17}$$

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						96

Пере. примен.	<p>при $\alpha = 60^\circ$</p> $V_{\text{очпз}} = 0.2(D_H^3 - D_K^3) \quad (3.18)$ <p>При прессовании фасонных профилей ДК рассчитывают, как приведенный диаметр:</p> $D_k = \sqrt{4 F_{\text{пр}} / \pi} \quad (3.19)$				
	Справ. №	<p>При прессовании полого профиля из полой заготовки с иглой постоянного сечения (рис. 3.31, б) объем ОЧПЗ выражается следующей зависимостью:</p> $V_{\text{очпз}} = V_1 - V_2 - V_3 + V_4 - V_5 \quad (3.20)$ <p>где V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 - объемы соответственно шаровых секторов OABCDE и ONMLKF; шаровых сегментов BCD и MLK; цилиндра MBDK.</p> <p>После некоторых преобразований значения составляющих объемов можно представить в виде:</p> $V_1 - V_2 = \frac{\pi}{12} * \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^3 \alpha} - (D_H^3 - D_K^3) \quad (3.21)$ $V_3 = \frac{\pi}{24 \sin^3 \alpha} (2D_H + \sqrt{D_H^2 - d_{\text{иг}}^2 * \sin^2 \alpha})(D_H - \sqrt{D_H^2 - d_{\text{иг}}^2 * \sin^2 \alpha})^2 \quad (3.22)$ $V_4 = \frac{\pi}{24 \sin^3 \alpha} (2D_K + \sqrt{D_K^2 - d_{\text{иг}}^2 * \sin^2 \alpha})(D_K - \sqrt{D_K^2 - d_{\text{иг}}^2 * \sin^2 \alpha})^2 \quad (3.23)$ <p>Подставляя значения составляющих объемов в формулу (3.20) и принимая $\alpha = 60^\circ$, после преобразований получаем:</p> $V_{\text{очпз}} = 0.4(D_H^2 - 0.75d_{\text{иг}}^2)^{1.5} - (D_K^2 - 0.75d_{\text{иг}}^2)^{1.5} - 0.5(D_H^3 - D_K^3) \quad (3.24)$			
Подпись и дата					
Име. № подл.					
Име. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Име. № подл.					

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						97

Перв. примен.	При прессовании полого профиля из заготовки сплошного сечения через комбинированную матрицу с выступающим рассекателем вследствие выше отмеченных особенностей течения металла, еще до подхода слоя прессуемого металла к поперечному сечению контейнера, проходящему через вершину рассекателя, наблюдается интенсивная деформация удлинения продольных слоев, обусловленная появлением радиальных напряжений, превышающих по абсолютной величине продольные напряжения. Это наглядно представлено на рис. 3.30.					
	Справ. №	Вследствие изложенного согласно работам Л.С. Скоблова задняя граница ОЧПЗ состоит из двух поверхностей, разделенных верхней кромкой рассекателя и ограниченных внутренней полостью контейнера (рис. 3.31).				
						
Подпись и дата	Рисунок 3.32 - Задняя граница ОЧПЗ при прессовании в матрицу с выступающим рассекателем					
	Изн. № дубл.	При таком построении задней границы объем ОЧПЗ выражается следующей зависимостью:				
Взам. инв. №		$V_{\text{очпз}} = V_{ABCD} + 2V_{EPKC} - V_{AMND} - V_P \tag{3.25}$				
	Подпись и дата	где V_{ABCD} - объем цилиндра с диаметром основания D_H и высотой, равной высоте рассекателя H_P ;				
Изн. № подл.		V_{EPKC} - объем тела, ограниченного плоскостью ЕС, перпендикулярной оси прессования и проходящей через вершину рассекателя, поверхностью контейнера и задней границей ОЧПЗ;				
	Изм. Лис № докум. Подпись Дат					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Перв. примен.	<p>V_{AMND} - объем передней упругой зоны;</p> <p>V_P - объем рассекателя.</p> <p>Общая зависимость для определения объема ОЧПЗ, полученная Л. С.Скобловым, сложна и мало пригодна для инженерных расчетов. Поэтому он предложил упростить формулу путем выражения различных параметров комбинированной матрицы через диаметр контейнера D_H, приведенный диаметр наружного контура прессованного профиля D_H и коэффициент вытяжки при прессовании λ. После такого упрощения была получена зависимость, вполне приемлемая для инженерных расчетов:</p> $V_{очпз} = 0.275D_H^3 + 0.108D_H^2D_K - 0.025D_K^3 + \frac{0.063D_H^3}{\lambda} \quad (3.26)$ <p>Сравнительные расчеты, проведенные по общей зависимости и упрощенной формуле, показали, что погрешность расчетов по последней не превышает 11%.</p> <p>Приведенную выше методику можно также использовать для получения зависимостей, определяющих объем ОЧПЗ при прессовании с обратным истечением. В этом случае угол α должен быть принят равным 75—80°.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> </div> </div>				
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	99

Перв. примен.

Справ. №

внутренние слои движутся быстрее периферийных. В результате чего появляются дополнительные напряжения: в периферийных слоях – растягивающие, так как каждый внутренний слой, двигаясь быстрее соседнего внешнего, увлекает его за собой; а во внутренних – сжимающие, так как каждый внешний слой сдерживает движение соседнего внутреннего. Вследствие стремления к выравниванию напряжений возникает зона наружных слоев с дополнительными продольными напряжениями растяжения, уменьшающимися по направлению от периферии к оси, и зона внутренних слоев с дополнительными продольными напряжениями сжатия, увеличивающимися к оси.

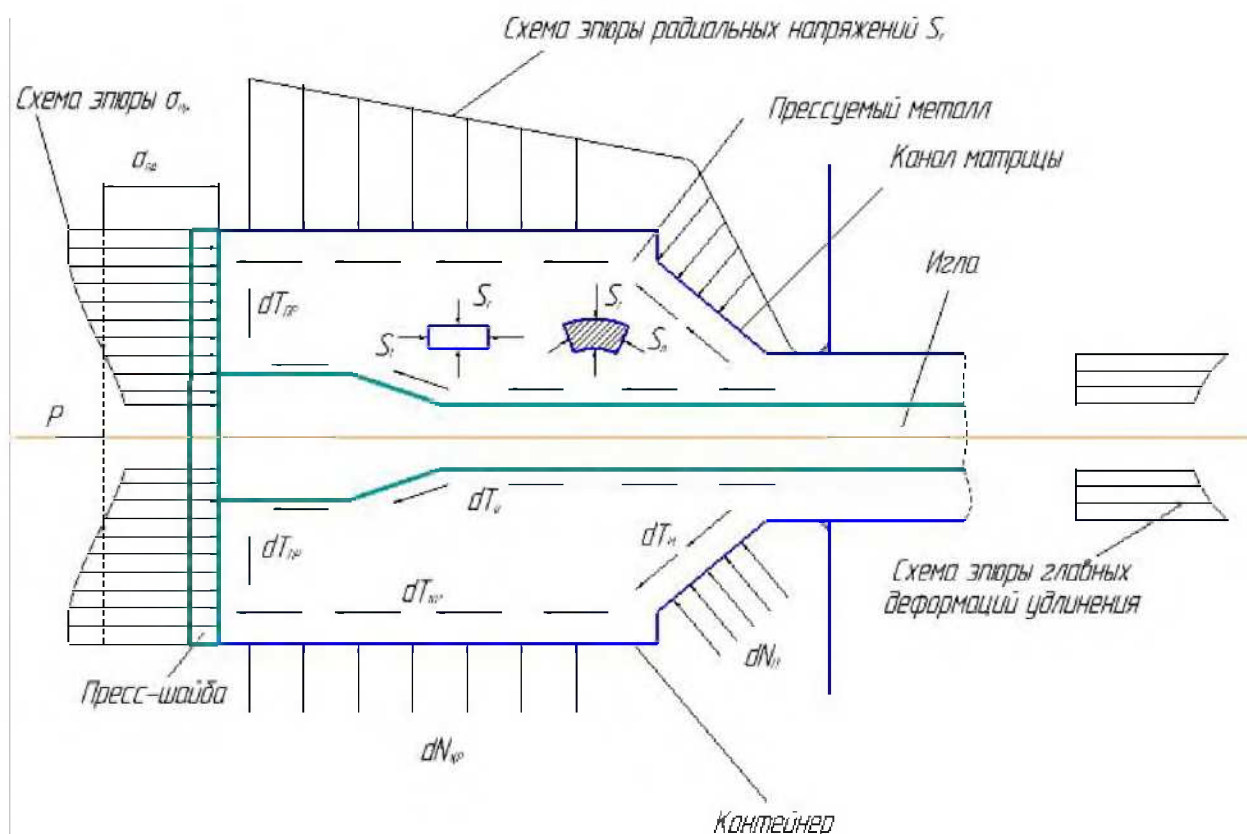


Рисунок 3.33 - Схема напряженно-деформированного состояния металла при прессовании.

- В зоне внутренних слоев дополнительные напряжения сжатия, налагаясь на основные напряжения сжатия, не изменяют вида напряженного

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Перв. примен.		Справ. №		<p>дополнительным доказательством того, что и при отсутствии сил трения деформация при прессовании не может быть равномерной; силы трения лишь увеличивают неравномерность деформации, свойственную идеальному (без трения) процессу при заданных прочих условиях.</p> <p>7. Это подтверждается и простейшим анализом влияния сил трения на напряженное состояние. На рис. 3.33 показана полная элементарная сила $dN_{\text{пол}}$, являющаяся результирующей элементарных сил $dN_{\text{кр}}$ и $dT_{\text{кр}}$. Эта сила больше $dN_{\text{кр}}$ (как гипотенуза силового треугольника), а поэтому она вызывает дополнительное утонение периферийных участков поперечных слоев и поворот главных деформаций элементарных объемов прессуемого металла.</p> <p>8. Неравномерность напряженного и деформированного состояния всего объема прессуемого металла при прессовании увеличивается с увеличением угла конусности матрицы.</p> <p>При рассмотрении деформированного состояния прессуемого металла было указано, что в рассматриваемом процессе во всех участках деформируемого объема окружные и радиальные главные деформации практически равны. Это определяет приближенное равенство окружных и радиальных главных нормальных напряжений, т. е. позволяет полагать:</p> $S_{\theta} = S_r \quad (3.27)$ <p>Принимая во внимание внутреннее трение в прессуемом металле и закон наименьшего сопротивления, можно считать, что на всех участках прессуемого объема, кроме ОЧПЗ:</p> $ S_1 > S_r \quad (3.28)$ <p>а в ОЧПЗ, наоборот:</p> $ S_1 < S_r \quad (3.29)$					
Подпись и дата		Изн. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Изн. № подл.	
<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>							Лис		
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат			102		

Перв. примен.	<p>Естественно, что переход от условия (28) к условию (29) происходит плавно.</p> <p>Условие (29) подтверждается тем, что в ОЧПЗ ячейки координатной сетки удлиняются, а в остальной части объема они либо несколько расширяются, либо их ширина остается практически неизменной (рис. 3.33).</p> <p>В соответствии с такими соотношениями основное условие пластичности в ОЧПЗ определяется уравнением:</p> $S_r = S_l + \sigma_s \quad (3.30)$ <p>Продольные главные нормальные напряжения S_l убывают по направлению от пресс-шайбы к входу в ОЧПЗ и дальше к выходу из нее, где они (при отсутствии противодействия) равны нулю. Соответственно убывают окружные S_θ и радиальные S_r главные нормальные напряжения, которые у выхода из ОЧПЗ, согласно уравнению (30) становятся равными величине сопротивления деформации прессуемого металла на выходе из канала матрицы. Соответственно этому на рис. 3.33 показана схема эпюры радиальных напряжений по боковой поверхности контейнера и матрицы.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата					
Инв. № дубл.	<h3>3.13 Сопротивление деформации металлов и сплавов при прессовании</h3> <p>Важнейшим показателем, необходимым для расчёта силовых условий процессов обработки металлов давлением является сопротивление деформации σ_s, которое можно определить экспериментально и аналитически на основе математической обработки экспериментальных данных. Вопрос определения реального значения σ_s для конкретного режима прессования по-прежнему является весьма актуальным, так как даже использования новых методов расчета с применением мощных ЭВМ незначительно повышают точность определения энергосиловых параметров процесса прессования, если важнейшую характеристику деформируемого металла - его σ_s - по-прежнему задают со значительными погрешностями.</p>				
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ
					Лис 103

Перв. примен.	<p>Единственно достоверным способом определения σ_s, при котором возможно достижение тех степеней деформации, соизмеримых с реализуемыми в процессах прессования, является метод испытания на горячее скручивание образцов разного диаметра, разработанный под руководством Д.И. Суярова. Скручиванию подвергают два стандартных образца с разными диаметрами в рабочей части с той целью, чтобы свести к минимуму ошибки, связанные с неравномерным распределением скорости и величины деформации в поперечном сечении сплошного образца. Нагрев образцов и само скручивание проводят в расплаве солей, что обеспечивает заданную температуру деформации. Сопротивление деформации сдвигу τ определяется, как среднее по сечению условно-трубчатого образца и характеризуется величиной касательного напряжения:</p>				
	Справ. №	$\tau = \frac{3(M_1 - M_2)}{2\pi(p_1^3 - p_2^3)} \quad (3.31)$			
Подпись и дата	<p>где M_1, M_2 – моменты при скручивании образцов разными радиусами p_1, p_2 соответственно.</p> <p>Для пересчета числа скручиваний по диаграмме кручения в деформацию сдвига и скорость деформации используют следующие соотношения:</p>				
	Инв. № дубл.	$tg\varphi = \frac{p_1 + p_2}{2l} \varphi \quad (3.32)$			
Взам. инв. №	$\xi = \frac{p_1 + p_2}{2l} \varphi \quad (3.33)$				
	Подпись и дата	<p>где ω - угловая скорость шпинделя; l - длина рабочей части образца;</p> <p>$\phi = 2\pi n$ - угол поворота шпинделя во время скручивания до разрушения;</p> <p>n - число оборотов при скручивании.</p> <p>Принимая во внимание закон Д.И. Суярова: одинаковому изменению свойств деформируемого материала (например, σ_s) должны соответствовать деформации одинаковой величины при одном и том же температурно-</p>			
Инв. № подл.					
	Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Лис 104

ПЕРЕ. ПРИМЕН.	<p>скоростном режиме независимо от способа деформирования, если удельная работа деформации будет во всех случаях одной и той же.</p> <p>Тогда:</p> $\sigma_s = \tau\sqrt{3} \quad (3.34)$ $\varepsilon = \ln\lambda = \frac{tg\varphi}{\sqrt{3}} \quad (3.35)$				
	СПРАВ. №	<p>В своих формулах И.Л. Перлин (табл.1) применяет несколько значений σ_s: среднее сопротивление деформации по ОЧПЗ, сопротивление деформации в начале и на выходе из ОЧПЗ - σ_{SH} и σ_{SK} соответственно. При этом σ_{SH} приравнивалось линейному напряжению текучести при статическом растяжении (табл. 3), а $\sigma_{SK} = C_y\sigma_{SH}$, где C_y – коэффициент скоростного упрочнения, зависящий от длительности деформации τ Д (времени пребывания прессуемого металла в ОЧПЗ) и вытяжки λ (табл. 4).</p> <p>Л.А. Шофман в своих расчетах берет значения сопротивления деформации с учетом влияния на сопротивление деформации температурно-скоростных условий процесса прессования. Это учитывается при помощи дополнительных коэффициентов:</p> $\sigma_s = \sigma_{s0}\omega_T\varphi_V \quad (3.36)$ <p>Температурный коэффициент ω_T определяется из выражения:</p> $\omega_T = \exp[-3.5 * 10^{-3}(T_{пл} - T_{пр})] \quad (3.37)$ <p>где $T_{пл}, T_{пр}$ - абсолютные температуры плавления и прессования, °К</p>			
ПОДПИСЬ И ДАТА		ИНВ. № ДУБЛ.	ВЗАМ. ИНВ. №	ПОДПИСЬ И ДАТА	ИНВ. № ПОДЛ.
	<div> <div>Лис</div> <div>105</div> </div>				

Перв. примен.	Таблица 2- Значения коэффициента а для расчетов усилий прошивки											
	Диаметр игл d, мм	Значения коэффициентов а для материалов										
		Медь	Л63	ЛС59-1	МНЖ5-1	БрАЖН10-4-4						
	20	0,25	0,70	0,90	0,30	-						
	30	0,22	0,60	0,70	0,24	-						
	40	0,20	0,56	0,50	0,20	-						
	60	0,15	0,44	0,30	0,16	0,15						
	80	0,10	0,30	0,20	0,10	0,09						
	100	0,07	0,18	0,13	0,08	0,04						
	140	0,04	-	0,07	0,06	0,04						
	160	0,03	-	-	0,04	0,03						
	180	0,02	-	-	-	0,03						
	200	0,02	-	-	-	0,02						
	Справ. №	Таблица 3- Значения σ_{SH} цветных металлов и сплавов, МПа										
		Металл или сплав	Температура, °C									
500			550	600	650	700	750	800	850	900	950	
Медь		60	55	50	44	38	32	26	20	18	15	
Л68		-	-	45	40	35	30	25	20	-	-	
Л63		80	60	35	30	27	24	20	15	-	-	
ЛС59-1		-	-	20	17	15	13	11	09	-	-	
ЛН65-5		160	120	90	80	50	30	20	-	-	-	
БрАЖМц10-3-1.5		-	-	120	70	50	30	15	12	8	-	
БрАЖН10-4-4		-	-	160	120	80	50	25	20	15	-	
БрБ-2		-	-	-	-	100	30	40	35	-	-	
БрКМц3-1		-	-	120	100	75	20	35	20	15	-	
БрКН1-3		-	-	200	150	120	80	50	25	12	-	
БрОФ6.5-0.4		-	-	200	180	160	140	120	-	-	-	
БрХ0.5		-	-	160	140	120	70	60	40	20	16	
БрОФ4-0.25	-	-	150	130	110	90	70	-	-	-		
Подпись и дата	Л96	80	70	65	58	50	42	35	26	-	-	
	Температура, °C	200	250	300	350	400	450	500	-	-	-	
	Алюминий	50	35	25	20	15	-	-	-	-	-	
	АВ	55	40	30	25	22	12	-	-	-	-	
	АМг7	-	-	80	60	40	35	23	-	-	-	
	Д1	-	-	55	45	35	30	25	-	-	-	
	Д16	-	-	70	50	40	35	28	-	-	-	
	В95	-	-	100	80	65	50	35	-	-	-	
	АМг5	-	-	-	42	32	27	20	-	-	-	
	Таблица 4- Значения скоростного коэффициента C_y .											
	Вытяжка λ	Длительность деформации τ_d , сек.										
		0.001	0.01	0.1	1.0	10						
	5	4.7	4.4	3.4	2.6	1.0						
	>10	5.0	4.8	3.6	2.8	1.0						
	Инв. № подл.											
Взам. инв. №												
Инв. № дубл.												
Подпись и дата												
Изм.												
Лис												
№ докум.												
Подпись												
Дат												
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ												
106												

Пере. примен.	<p>Скоростной коэффициент ϕ_v определяется из выражения:</p> $\phi_v = \dot{\epsilon}_{\text{ср}}^n \quad (3.38)$ <p>где $\dot{\epsilon}_{\text{ср}}$ - средняя скорость деформации в процессе установившегося истечения и рассчитывается по формулам:</p>					
	Справ. №	<p>- для прутков $\dot{\epsilon}_{\text{ср}} = \frac{2v_{\text{пр}} \ln \lambda}{b_{\text{пр}} D_k}$ (3.39)</p> <p>- для труб $\dot{\epsilon}_{\text{ср}} = \frac{2v_{\text{пр}} \ln \lambda}{b_{\text{пр}} (D_k - d)}$ (3.40)</p> <p>При прессовании труб, прутков методами прямого и обратного истечения $b_{\text{пр}}$ коэффициент соответственно равен 0,7; 0,8; 0,3.</p> <p>Коэффициент n определяется из выражения:</p> $n = n_0 \left(\frac{T_{\text{пр}}}{T_{\text{пл}}} \right)^2 \quad (3.41)$ <p>где $n_0 = 0,18-0,20$ для алюминия и его сплавов; $n_0 = 0,20-0,25$ для меди и ее сплавов.</p> <p>Значения σ_{S0}, МПа для различных металлов приведены ниже: Медь - 18-20; Алюминий - 16-17; АМц - 25; Д1 - 35; Д16 - 38.</p> <p>От методов определения σ_S выгодно отличается метод Н.Н. Довженко определения σ_{SH} непосредственно во время прямого прессования без смазки в производственных условиях. Для этого в начале установившейся стадии необходимо найти изменение усилия прессования $\Delta P_{\text{пр}}$ в зависимости от перемещения пресс-штемпеля ΔL. Тогда текущее сопротивление деформации для прессуемого металла будет равно:</p> $\sigma_{SH} = \frac{\Delta P_{\text{пр}}}{\pi \mu D_k \Delta L} \quad (3.42)$ <p>где $\pi = 3,14$; μ - коэффициент трения прессуемого металла о стенки контейнера.</p>				
Подпись и дата		Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
	Изм.					
Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата		

Перв. примен.	<p>Данный экспресс-анализ определения σ_{SH} позволяет оперативно корректировать процесс прессования для достижения оптимальных условий производства.</p> <p>Экспериментальные исследования определения σ_S показали, что во время прессования на σ_S влияют следующие факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Химический состав (рис. 2.33, а). С увеличением количества второй фазы в деформируемом материале значения σ_S могут увеличиваться, но могут и уменьшаться. 2. Степень чистоты (рис. 2.33, б). Значения σ_S увеличиваются с уменьшением степени чистоты, т. е. с увеличением количества посторонних включений в материале. 3. Кристаллическая структура (рис. 2.33, в). Влияние кристаллической структуры на величину σ_S часто подавляется другими факторами, воздействующими на процесс. Например, это могут быть процессы упрочнения и разупрочнения. 4. Образование новых фаз (рис. 2.33, г). Изменение фазового состава влечет за собой изменение значений величины σ_S. 5. Исходное состояние материала (рис. 2.33, д). Величина σ_S зависит от исходного состояния материала: литой материал 1, деформированный материал 2. 6. Величина зерна (рис. 2.33, е). Влияние величины зерна на значения σ_S незначительно. 7. Термообработка (рис. 2. 32, ж). Значения σ_S будут различными, если: <ul style="list-style-type: none"> • материал сразу нагревают до температуры исследования (1); • проводят нагрев материала до более высокой температуры и затем его охлаждают до температуры исследования (2). 8. Градиент механических свойств образца (рис. 2.33, з). Величина σ_S зависит от градиента механических свойств в продольном 1 и поперечном 2, 3 сечениях образца, причем это влияние тем сильнее, чем больше отличается состояние данного материала от квазиизотропного материала. 					
	Справ. №					
Подпись и дата	Подпись и дата					
	Инв. № дубл.					
	Взам. инв. №					
	Подпись и дата					
	Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лист
						108

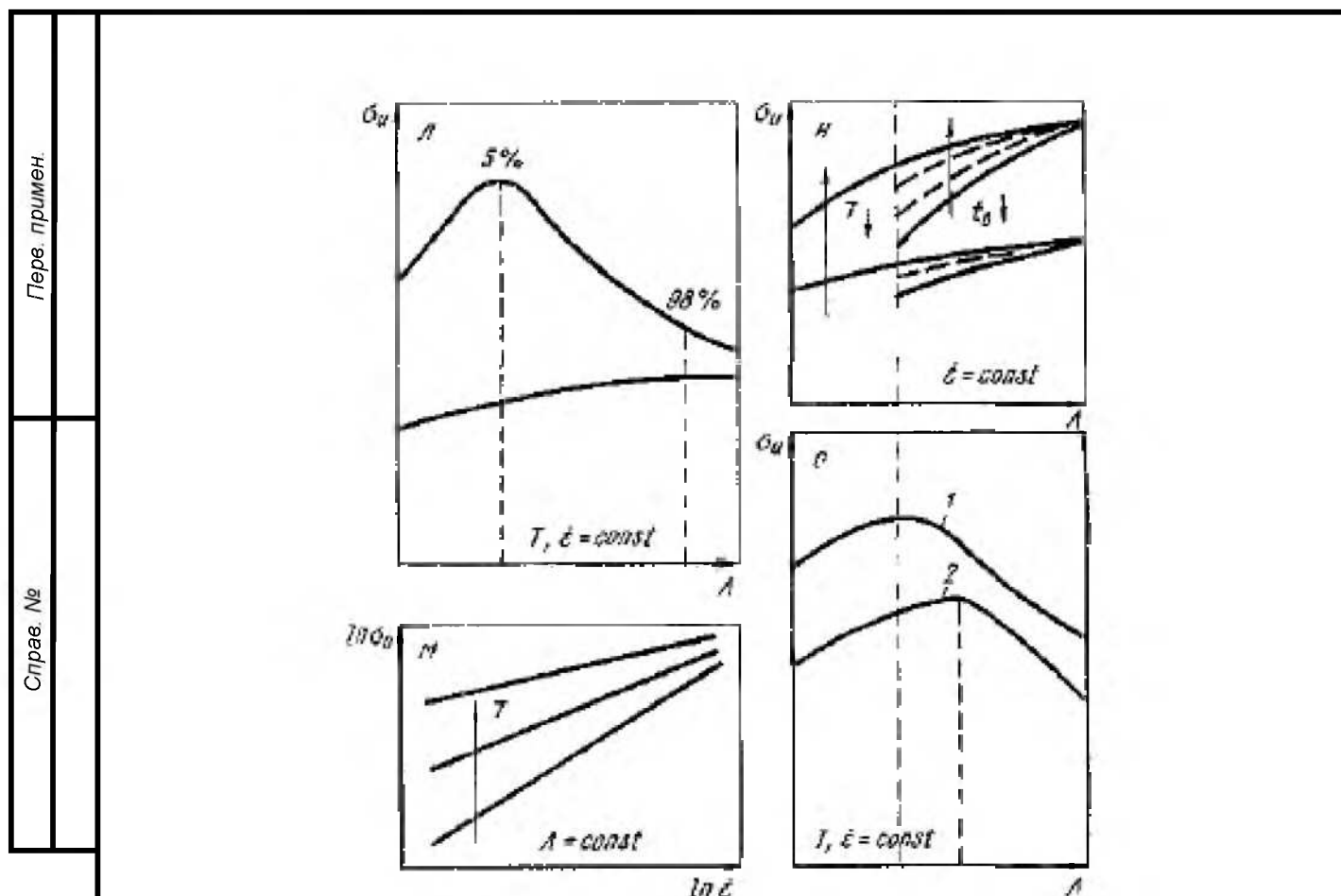


Рисунок 3.34 - Зависимость сопротивления деформации σ_s от параметров прессования.

При горячем прессовании упрочнение ограничивается начальной стадией, и при достижении некоторой степени деформации (около 50 %) упрочнение прекращается. Начиная с этого момента, сопротивление деформации зависит в основном от температуры и скорости деформации и изменяется в интервале температур горячей деформации по следующей ступенной зависимости, полученной на основе температурного закона Н.С. Курнакова и аппроксимации многочисленных опытных данных:

$$\sigma_s = C_1 \varepsilon * C_2 \dot{\varepsilon} * C_3 \exp(-C_4 T) \quad (3.43)$$

где $\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T$ – степень, скорость и температура деформации;

C_1, C_2, C_3, C_4 – реологические коэффициенты для каждого конкретного металла или сплава.

Перв. примен.	<p>В интервале степени деформации 10-50 % при горячей деформации А.И.Целиков предлагает величину σ_s определять методом термомеханических коэффициентов, применив уравнения (43) к двум известным по механическим характеристикам и параметрам деформации экспериментальным значениям σ_s :</p> $\sigma_s(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T) = \sigma_s(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T_1) \exp\left(\frac{T-T_1}{T_2-T_1}\right) \ln\left[\frac{\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T_2}{\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T_1}\right] \quad (3.44)$ <p>где $\sigma_s(\varepsilon, \dot{\varepsilon}_1, T_1)$ и $\sigma_s(\varepsilon, \dot{\varepsilon}_2, T_2)$ - сопротивление деформации при постоянной деформации ε и различных скоростях $\dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_2$ и температурах T_1 и T_2.</p> <p>На основе математической обработки экспериментальных данных исследования сопротивления деформации различными авторами были получены следующие формулы для расчета сопротивления деформации:</p> <ul style="list-style-type: none"> М. Жидеком: $\sigma_s = A + BT + (C + DT)K \quad (3.45)$ В.Н. Выдриным, А.В. Третьяковым, В.И. Зюзиным [26]: $\sigma_s = A\varepsilon^B \dot{\varepsilon}^C \exp(-DT) \quad (3.46)$ М. Хайдуком: $\sigma_s = \sigma_{s0} A \Lambda^m B \dot{\varepsilon}^n C \exp(-KT) \quad (3.47)$ <p>где A, B, C, D, K, m, n – реологические коэффициенты; T- температура прессования; $\Lambda = \ln \lambda$.</p> <p>Анализ уравнений (44) - (47) показывает, что эта зависимость может быть описана: полиномом (45); степенной или экспоненциальной функцией (44, 46, 47) и не позволяет учитывать изменения значений σ_s в области фазовых превращений, при динамических процессах разупрочнения, при выделении избыточной фазы и являются правомерными лишь для однофазных областей. Поэтому при использовании формул (44) - (48) следует учитывать химический состав материала, степень деформации, скорость деформации и</p>					Справ. №
Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>	Лис
						111
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		

Пере. примен.	<p>температуру. При отсутствии хотя бы одного из этих параметров область применения уравнения сразу ограничивается узким интервалом варьирования условий деформации. Для математического функциональной зависимости сопротивления деформации материала от условий деформации наиболее пригодными следует признать степенные и экспоненциальные функции (формула 46), а также регрессивные полиномы, которые дают удовлетворительное приближение расчетных данных к экспериментальным значениям и является достаточно простыми для практического применения. В табл. 5 представлены реологические коэффициенты для формулы (46):</p> <p>Таблица 5- Значения реологических коэффициентов для уравнения (46)</p>																																																																																																																																																																																	
	Справ. №	<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">Материал</th> <th>Температура, °C</th> <th colspan="4">Эмпирические коэффициенты</th> </tr> <tr> <th>T</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> <tr> <td colspan="6">Чистые металлы</td> </tr> <tr> <td>Железо</td> <td>800-1200</td> <td>1200</td> <td>0,4</td> <td>0,14</td> <td>0,003</td> </tr> <tr> <td>Никель</td> <td>900-1300</td> <td>1850</td> <td>0,5</td> <td>0,11</td> <td>0,0028</td> </tr> <tr> <td>Медь</td> <td>450-1000</td> <td>520</td> <td>0,4</td> <td>0,1</td> <td>0,0023</td> </tr> <tr> <td>Титан</td> <td>200-750</td> <td>1900</td> <td>0,35</td> <td>0,14</td> <td>0,003</td> </tr> <tr> <td>Алюминий</td> <td>300-500</td> <td>180</td> <td>0,37</td> <td>0,2</td> <td>0,0017</td> </tr> <tr> <td>Цинк литой</td> <td>150-340</td> <td>260</td> <td>0,5</td> <td>0,13</td> <td>0,0057</td> </tr> <tr> <td>Цинк прокат</td> <td>20-100</td> <td>420</td> <td>0,15</td> <td>0,12</td> <td>0,0012</td> </tr> <tr> <td>Ванадий</td> <td>800-1200</td> <td>2500</td> <td>0,4</td> <td>0,12</td> <td>0,003</td> </tr> <tr> <td>Цирконий</td> <td>800-1100</td> <td>3000</td> <td>0,2</td> <td>0,15</td> <td>0,003</td> </tr> <tr> <td>Ниобий</td> <td>950-1200</td> <td>2500</td> <td>0,3</td> <td>0,15</td> <td>0,003</td> </tr> <tr> <td>Молибден</td> <td>950-1250</td> <td>2900</td> <td>0,25</td> <td>0,15</td> <td>0,003</td> </tr> <tr> <td>Вольфрам</td> <td>1600-2200</td> <td>10000</td> <td>0,3</td> <td>0,12</td> <td>0,0018</td> </tr> <tr> <td>Свинец</td> <td>20-300</td> <td>46</td> <td>0,35</td> <td>0,12</td> <td>0,0015</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Сплавы алюминия</td> </tr> <tr> <td>АМЦ</td> <td>300-500</td> <td>250</td> <td>0,32</td> <td>0,10</td> <td>0,001</td> </tr> <tr> <td>АМГ 61</td> <td>300-450</td> <td>410</td> <td>0,35</td> <td>0,15</td> <td>0,0012</td> </tr> <tr> <td>АМГ 6</td> <td>300-450</td> <td>440</td> <td>0,35</td> <td>0,11</td> <td>0,0012</td> </tr> <tr> <td>Д 16</td> <td>300-450</td> <td>370</td> <td>0,32</td> <td>0,11</td> <td>0,0017</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Продолжение Таблицы 4</td> </tr> <tr> <td>АМГ 58</td> <td>300-450</td> <td>350</td> <td>0,35</td> <td>0,13</td> <td>0,0013</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Сплавы меди</td> </tr> <tr> <td>Л 62</td> <td>300-600</td> <td>1000</td> <td>0,5</td> <td>0,11</td> <td>0,004</td> </tr> <tr> <td>Л68</td> <td>600-750</td> <td>700</td> <td>0,5</td> <td>0,11</td> <td>0,007</td> </tr> <tr> <td>Л70</td> <td>750-950</td> <td>850</td> <td>0,5</td> <td>0,11</td> <td>0,004</td> </tr> <tr> <td>Л90</td> <td>300-600</td> <td>710</td> <td>0,38</td> <td>0,11</td> <td>0,0028</td> </tr> <tr> <td>Мельхиор</td> <td>600-900</td> <td>620</td> <td>0,57</td> <td>0,11</td> <td>0,0028</td> </tr> </table>					Материал	Температура, °C	Эмпирические коэффициенты				T	A	B	C	D	Чистые металлы						Железо	800-1200	1200	0,4	0,14	0,003	Никель	900-1300	1850	0,5	0,11	0,0028	Медь	450-1000	520	0,4	0,1	0,0023	Титан	200-750	1900	0,35	0,14	0,003	Алюминий	300-500	180	0,37	0,2	0,0017	Цинк литой	150-340	260	0,5	0,13	0,0057	Цинк прокат	20-100	420	0,15	0,12	0,0012	Ванадий	800-1200	2500	0,4	0,12	0,003	Цирконий	800-1100	3000	0,2	0,15	0,003	Ниобий	950-1200	2500	0,3	0,15	0,003	Молибден	950-1250	2900	0,25	0,15	0,003	Вольфрам	1600-2200	10000	0,3	0,12	0,0018	Свинец	20-300	46	0,35	0,12	0,0015	Сплавы алюминия						АМЦ	300-500	250	0,32	0,10	0,001	АМГ 61	300-450	410	0,35	0,15	0,0012	АМГ 6	300-450	440	0,35	0,11	0,0012	Д 16	300-450	370	0,32	0,11	0,0017	Продолжение Таблицы 4						АМГ 58	300-450	350	0,35	0,13	0,0013	Сплавы меди						Л 62	300-600	1000	0,5	0,11	0,004	Л68	600-750	700	0,5	0,11	0,007	Л70	750-950	850	0,5	0,11	0,004	Л90	300-600	710	0,38	0,11	0,0028	Мельхиор	600-900	620	0,57	0,11
Материал		Температура, °C	Эмпирические коэффициенты																																																																																																																																																																															
	T	A	B	C	D																																																																																																																																																																													
Чистые металлы																																																																																																																																																																																		
Железо	800-1200	1200	0,4	0,14	0,003																																																																																																																																																																													
Никель	900-1300	1850	0,5	0,11	0,0028																																																																																																																																																																													
Медь	450-1000	520	0,4	0,1	0,0023																																																																																																																																																																													
Титан	200-750	1900	0,35	0,14	0,003																																																																																																																																																																													
Алюминий	300-500	180	0,37	0,2	0,0017																																																																																																																																																																													
Цинк литой	150-340	260	0,5	0,13	0,0057																																																																																																																																																																													
Цинк прокат	20-100	420	0,15	0,12	0,0012																																																																																																																																																																													
Ванадий	800-1200	2500	0,4	0,12	0,003																																																																																																																																																																													
Цирконий	800-1100	3000	0,2	0,15	0,003																																																																																																																																																																													
Ниобий	950-1200	2500	0,3	0,15	0,003																																																																																																																																																																													
Молибден	950-1250	2900	0,25	0,15	0,003																																																																																																																																																																													
Вольфрам	1600-2200	10000	0,3	0,12	0,0018																																																																																																																																																																													
Свинец	20-300	46	0,35	0,12	0,0015																																																																																																																																																																													
Сплавы алюминия																																																																																																																																																																																		
АМЦ	300-500	250	0,32	0,10	0,001																																																																																																																																																																													
АМГ 61	300-450	410	0,35	0,15	0,0012																																																																																																																																																																													
АМГ 6	300-450	440	0,35	0,11	0,0012																																																																																																																																																																													
Д 16	300-450	370	0,32	0,11	0,0017																																																																																																																																																																													
Продолжение Таблицы 4																																																																																																																																																																																		
АМГ 58	300-450	350	0,35	0,13	0,0013																																																																																																																																																																													
Сплавы меди																																																																																																																																																																																		
Л 62	300-600	1000	0,5	0,11	0,004																																																																																																																																																																													
Л68	600-750	700	0,5	0,11	0,007																																																																																																																																																																													
Л70	750-950	850	0,5	0,11	0,004																																																																																																																																																																													
Л90	300-600	710	0,38	0,11	0,0028																																																																																																																																																																													
Мельхиор	600-900	620	0,57	0,11	0,0028																																																																																																																																																																													
Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	<p>Следует отметить, что в формуле (46) разница в значениях реологических коэффициентах B, C и D для различных марок стали, цветных металлов и</p>																																																																																																																																																																															
			<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> </table>								Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат																																																																																																																																																																			
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат																																																																																																																																																																														
Име. № подл.	Подпись и дата	<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>																																																																																																																																																																																
		<p>112</p>																																																																																																																																																																																

[illegible]

Перв. примен.	<h3>3.14 Определение условий прессования и выбор смазки</h3> <p>В процессах обработки металлов давлением при взаимодействии деформируемого металла с инструментом на контактных поверхностях возникают силы трения, которые оказывают исключительно большое влияние на силовой режим деформирования, характер пластического течения металла, износ инструмента, качество изделий и эффективность процесса в целом. В подавляющем большинстве технологических процессов ОМД трение играет отрицательную роль: увеличивается общее усилие, необходимое для деформирования заготовки; наблюдается значительная неравномерность деформации обрабатываемого металла; снижается стойкость деформирующего инструмента; ухудшается качество получаемых изделий и т.д.</p> <p>Знание закономерностей трения при взаимодействии деформируемого тела с контактной поверхностью инструмента необходимо для разработки научно обоснованных методов расчета напряжений и деформаций, а также для решения многих технологических задач.</p> <p>В последнее время становятся весьма актуальными задачи совершенствования процессов ОМД путем управления механикой контактного взаимодействия за счет уменьшения вредного действия сил трения при применении технологических смазок. Вместе с тем, непрерывная интенсификация процессов обработки металлов давлением, повышение требований к качеству изделия, выпуск новых видов продукции, изменение сырьевой базы, модернизация технологического оборудования и более внимательное отношение к проблемам экологии приводят к необходимости замены существующих смазок более эффективными .</p> <p>В данной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности новых технологических смазок для процессов горячего прессования труб из алюминиевых сплавов.</p>					
	Справ. №					
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>
	<div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div>					
						<div>Лис</div> <div>114</div>

Перв. примен.	<p>Трение в процессах прессования труб из алюминиевых сплавов. В производственной практике получения труб из алюминиевых сплавов в настоящее время нашли широкое распространение процессы прямого и обратного прессования труб из полых слитков. В этих процессах игла, помещенная в полость слитка, формирует внутреннюю поверхность трубы, а деформируемый металл выпрессовывается в зазор между калибрующим пояском матрицы и поверхностью иглы. При этом трение деформируемого металла о стенки контейнера и поверхность иглы имеет исключительно важное значение.</p> <p>Контактное взаимодействие прессуемого слитка с инструментом и контейнером оказывает существенное влияние на необходимое усилие прессования и качество получаемого пресс-изделия. Зачастую именно этим определяется неравномерность микро-и макроструктуры и механических свойств труб, качество их поверхности.</p> <p>По характеру движения прессуемого слитка относительно контейнера можно выделить два основных способа прессования.</p> <p>Прессование с прямым истечением, когда контейнер неподвижен относительно матрицы, а слиток в процессе выдавливания перемещается относительно контейнера. В этом случае возникают значительные реактивные силы трения.</p> <p>Прессование с обратным истечением, когда контейнер движется относительно матрицы, а слиток относительно контейнера не перемещается. При таком способе прессования трение между слитком и контейнером отсутствует, что приводит к снижению общего усилия прессования алюминиевых сплавов на 20-50%. В последнее время разработан способ прессования с обратным истечением, когда иглы трения играют активную роль. В этом случае скорость движения контейнера относительно матрицы выбрана так, что силы трения слитка о поверхность контейнера создают дополнительное положительное усилие. Однако данный способ прессования ещё не нашел широкого применения в производственной практике.</p>					
						Справ. №
<div>Подпись и дата</div> <div>Име. № дубл.</div> <div>Взам. име. №</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Име. № подл.</div>						
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						115

Перв. примен.	<p>Трение на контактной поверхности контейнера приводит к затормаживанию движения периферийных слоев металла тем в большей степени, чем больше удельные силы трения. Эти силы могут достигать такой величины, что происходит полное прилипание периферийных слоев, и, следовательно, скорость их перемещения станет равной нулю. Это явление используется, в частности, для ведения процесса прессования с образованием "пресс-рубашки".</p> <p>Затормаживание периферийных слоев приводит к появлению в них интенсивных деформаций сдвига, что требует дополнительных энергозатрат. Чем выше уровень трения, тем больше величина сдвиговых деформаций в приконтактных слоях и тем больше разница в степени деформации "внутренних" участков слитка и участков, прилегающих к контактным поверхностям. Это приводит к различным условиям формирования вторичной структуры конечного продукта, образованию мелкозернистых и крупнозернистых ободков.</p>														
	Справ. №														
Подпись и дата		<p>Особо важное значение трение приобретает при рассмотрении условий контакта деформируемого металла с иглой, так как скольжение деформируемого металла по поверхности иглы, сопровождающееся трением, имеет место как в случае прессования с прямым истечением, так и с обратным. При этом по интенсивности скольжения металла относительно иглы, а, следовательно, и по интенсивности дополнительной деформации от трения по игле можно различать три основные разновидности процесса прессования в зависимости от осевого перемещения иглы относительно матрицы.</p>													
	Инв. № дубл.														
Взам. инв. №															
Подпись и дата	<p>1. Игла неподвижна, а пресс-штемпель может перемещаться вдоль нее - так называемая неподвижная игла. Скольжение металла относительно иглы и трение об иглу максимальны.</p> <p>2. Игла движется одновременно с пресс-штемпелем - так называемая подвижная игла. В этом случае скольжение металла по части иглы, находящейся в контейнере, заметно ниже, однако в зоне пластической</p>														
Инв. № подл.															
<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> </table>										Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p>
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат											
					<p>Лис</p> <p>116</p>										

Перв. примен.	<p>деформации наблюдается скольжение прессуемого металла относительно иглы.</p> <p>3. Игла движется так, что допускается ее осевое смещение относительно пресс-штемпеля - так называется продольно-плавающая игла. При таком способе прессования игла передвигается вместе с прессуемым металлом к выходу из канала матрицы. В этом случае могут наблюдаться как зона опережения, где скорость движения металла больше, чем скорость движения иглы, так и зона отставания, где скорость металла ниже.</p> <p>Силы контактного трения по поверхности иглы оказывают влияние на течение металла в слоях, находящихся в непосредственной близости к игле и вызывают дополнительные сдвиговые деформации.</p> <p>Поэтому по сечению трубы возникает значительная неравномерность деформации, тем большая, чем больше толщина стенки. При прессовании труб сложного поперечного сечения (например, ребристых) неравномерность деформации еще более значительна.</p> <p>Наличие неравномерности деформации приводит к образованию на поверхности труб дополнительных растягивающих напряжений из-за торможения слоев металла, контактирующих с иглой. Возникновение этих дополнительных напряжений может являться причиной появления поперечных надрывов или трещин на поверхности прессуемых труб. Во избежание появления этих дефектов приходится ограничивать скорость истечения металла.</p> <p>Трение препятствует увеличению скорости истечения при прессовании алюминиевых сплавов также потому, что оно вызывает значительное повышение температуры в зоне контакта прессуемого металла и инструмента. При этом повышается адгезия алюминиевых сплавов к материалу инструмента. В случае неудовлетворительного качества смазки это приводит к образованию на поверхности инструмента наминов металла, что снижает качество поверхности труб.</p>														
	Справ. №														
Име. № подл.	Подпись и дата														
	Взам. инв. №														
	Име. № дубл.														
	Подпись и дата														
	Име. № подл.														
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат						<p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> <p>Лис</p> <p>117</p>
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат											

Перв. примен.					
Справ. №					
<div>Подпись и дата</div> <div>Име. № дубл.</div> <div>Взам. инв. №</div> <div>Подпись и дата</div> <div>Име. № подл.</div>	<p>Тепловой эффект при прессовании в значительной степени также зависит от условий трения поверхности контейнера. Чем выше трение, тем значительнее выделение тепла. Снижают трение в контейнере путем применения мазок. Процесс прессования со смазкой контейнера дает возможность резко повысить скорость истечения. Однако применение этого способа прессования сдерживается отсутствием достаточно эффективных смазок.</p> <p>Отрицательно влияет трение и на стойкость прессового инструмента. При этом стойкость инструмента, и в частности игл, в ряде случаев является одним из факторов, лимитирующих применение процессов прессования для получения труб. Вместе с тем, иногда данный способ обработки является единственно возможным при производстве труб и полых профилей.</p> <p>При прессовании полых профилей и труб в результате воздействия сил трения в теле иглы возникают продольно-растягивающие напряжения. Действие этих напряжений сочетается с напряжениями поперечного сжатия, возникающими под действием деформируемого металла. Такая схема напряженного состояния в условиях воздействия повышенной температуры при горячем прессовании алюминиевых сплавов (до 500°C) может привести к потере прочности иглы и к ее пластической деформации и обрыву. Практика процессов производства показывает, что особенно это характерно при использовании игл диаметром менее 30 мм. Если у игл диаметром 50 мм и более при прессовании центральные слои иглы не успевают прогреться до высоких температур и сохраняют свои прочностные свойства, то иглы диаметром менее 30 мм успевают прогреться по всему сечению и прочность их падает.</p> <p>Указанные выше обстоятельства позволяют сделать вывод о том, что уменьшение трения между деформируемым металлом и поверхностями контейнера и иглы является одним из эффективных средств как снижения усилия прессования и, следовательно, энергозатрат, так и повышения качества продукции.</p>				
<div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div>					
<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>					
<div>Лис</div> <div>118</div>					

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
<p>Для снижения трения при прессовании труб из алюминиевых сплавов на поверхность иглы наносят технологические смазки, иногда смазывают также поверхность контейнера и слитка. Смазывание иглы особенно важно, так как в случае налипания металла на поверхность иглы значительно ухудшается качество внутренней поверхности и труб - образуются надиры и риски. Это приводит к появлению неисправимого брака, так как эти дефекты невозможно устранить с внутренней поверхности трубы градационными способами механической обработки.</p> <p>В настоящее время в отечественной производственной практике при прессовании труб из алюминиевых сплавов применяют смазки с чешуйчатым графитом, жидкой основой которых служат тяжелые масла (типа "Вапор Т"). Качество этих смазок невысокое: часто наблюдается разрывы смазочной пленки и налипание металла на инструмент, что не позволяет прессовать с большими скоростями истечения. Значительно лучше зарекомендовали себя смазки, имеющие в своем составе, свинцовый сурик, стеарат свинца, олеат олова. Лучшими антифрикционных свойства обладает смазка, имеющая в составе свинцовый сурик. Общий недостаток всех этих смазок -горючесть при температуре прессования алюминиевых сплавов и большое дымовыделение, при котором выделяются токсичные вещества.</p> <p>Кроме того требуют решения вопросы механизации процессов нанесения смазок, которые в настоящее время наносят вручную, что повышает трудоемкость процессов прессования.</p> <p>Целью данной работы являлось исследование возможности совершенствования процессов прессования труб из алюминиевых сплавов путем применения более эффективных технологических смазок, отвечающих как требованиям технического, так и экологического характера и позволяющих механизировать процесс их нанесения.</p> <p>Различают три основные режимы внешнего трения: сухое, граничное и жидкостное [30].</p>					
					Лис
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					119
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.	<p>Сухое трение наблюдается, когда поверхности трущихся тел совершенно свободны от чужеродных молекул (газов, смазки, загрязнений и т.д.).</p> <p>Наиболее полно теория сухого трения разработана И.В.Крагельским, Ф.П.Боуденом и Д.Тейбором [31,32]. Согласно этой теории сила трения обусловлена механическим зацеплением микронеровностей, возникновением мостиков сварки, а также силами молекулярного притяжения трущихся поверхностей. Идеальное сухое трение почти не встречается в практических условиях.</p> <p>При наличии на контактных поверхностях тончайших пленок адсорбированных газов, окислов, смазки трение называют граничным. А.С.Ахматов [33] к граничным относит все процессы трения, "когда твердые поверхности разделены, весьма тонкими адсорбционными слоями любой природы и любого происхождения". Многочисленными исследованиями И.В.Крагельского, А.С.Ахматова, Б.В.Дерягина [31,33,34] установлено, что граничные слои смазки на поверхности твердых тел обладают особыми свойствами, отличными от объемных свойств смазки и зависящими от природы и состояния трущихся поверхностей. Граничный слой смазки способен приобретать упорядоченное строение и упругость формы (противодействие нормальному давлению) подобно твердому веществу. Лихтман В.И., Щукин Е.Д., Ребиндер П.А. [35] считают, что граничное трение в процессах ОМД представляет собой процесс пластического течения поверхностных слоев металла, прилегающих к инструменту. В результате действия смазки создается мягкий, пластифицированный слой за счет проникновения молекул (микрочастиц) смазки в микрощели поверхности металла.</p> <p>Сторонники этой школы выдвинули теорию об эффекте адсорбционного облегчения деформации или адсорбционном понижении прочности металла. Адсорбционному воздействию подвержены ультрамикроскопические поверхностные дефекты - слабые места, имеющиеся в любом твердом теле.</p>					
	Справ. №					
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div> <div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div> </div>
	Лис					
						120

Пере. примен.	<p>Схематически эти дефекты рассматриваются как щели клиновидного сечения. Эти дефекты в металле понижают его прочность. Говоря иными словами, дефекты в поверхностном слое металла являются своеобразными "воротами", через которые окружающая среда (смазочное вещество) проникает в поверхностный микрослой и оказывает воздействие на процесс деформации. В результате растягивания в микротрещины адсорбционных слоев понижается поверхностная энергия и возникает давление адсорбционного слоя. Эта энергия обеспечивает эффект облегчения деформации. Вейлер С.Я. и Лихтман В.И. [36] считают, что в присутствия смазки так изменяются граничные условия, что вся дополнительная деформация сосредотачивается в тонком пластифицированном, высокопластичном слое вне металла. Возникающее давление адсорбционного слоя за счет втягивания смазки в микрозазоры производит расклинивающее действие и, суммируясь с реактивными силами стенок (поверхностей) инструмента, помогает процессу деформации.</p> <p>Жидкостное или гидродинамическое трение имеет место при большой толщине разделительного смазочного слоя, когда неровности поверхностей тел не входят в непосредственное зацепление. Теория гидродинамического трения, разработанная Н.П.Петровым связывает действие смазочного слоя с его вязкостью, толщиной и скоростью скольжения трущихся поверхностей. Условием, определяющим возможность применения гидродинамической теории трения к технологическим процессам, является наличие несущего гидродинамического клина, препятствующего непосредственному контакту трущихся поверхностей под нормальной нагрузкой. Теоретически и экспериментально доказано, что при создании соответствующих кинематических и силовых условий процесса пластической деформации и выборе подходящей по физическим свойствам технологической смазки в технологических процессах ОМД может быть реализован режим гидродинамического трения. Исаченков Е.И. [38] выделяет в отдельный режим трения также трение через слой частиц твердой смазки или твердое</p>				
Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. име. №	Подпись и дата	Име. № подл.	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	
<div style="text-align: right;">Лис</div> <div style="text-align: right;">121</div>					

Пере. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата	<p>смазочное покрытие. При этом создается возможность защиты (экранирование) трущихся поверхностей от сближения и непосредственного контакта.</p> <p>Благоприятный режим трения возникает в этом случае при условии низкого сопротивления сдвигу в смазочном слое. На практике чаще всего реализуется смешанный вид трения. В этом случае между контактирующими поверхностями имеется слой смазки, но он не полностью разделяет поверхности; при сдвиге происходит зацепление неровностей поверхностей в отдельных точках, то есть на контактных поверхностях трущихся тел одновременно существуют локальные области сухого, граничного и жидкостного трения.</p> <p>В соответствии с существующим режимом внешнего трения наибольшее значение приобретают те или иные источники возникновения сил трения. К основным из них [30] относят : 1) механическое зацепление неровностей трущихся поверхностей; 2) молекулярное схватывание мостиков сварки с последующим их разрушением; 3) преодоление сопротивления сдвигу в слое промежуточных веществ, т.е. в микрообъемах разделительной среды.</p> <p>Из перечисленных источников возникновения сил внешнего трения первые два вызывают наибольшее сопротивление относительному движению трущихся тел, а также является основными источниками износа их контактных поверхностей.</p> <p>Роль технологических и конструкционных смазок заключается в устранении или уменьшении областей сухого и граничного трения и увеличении областей контактных поверхностей с жидкостным режимом трения или трением через слой разделительной среды. Это способствует уменьшению общей силы трения и снижению износа трущихся поверхностей.</p> <p>В процессах обработки металлов давлением одно из трущихся тел (деформируемый металл) находится в состоянии общего пластического течения. Поэтому часто, в отличие от обычного трения твердых тел, трение</p>				
	Ине. № подл.				
	Подпись и дата				
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Ине. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № подл.					
Подпись и дата					
Взам. инв. №					
Ине. № дубл.					

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
<p>при ОЩ называют "пластическим". Особенности пластического трения от трения твердых тел сводится к следующему :</p> <p>а) резкое увеличение фактической площади касания контактных поверхностей;</p> <p>б) значительное обновление контактной поверхности деформируемого тела (увеличение отношения площади поверхности к объему), приводящее к разрушению окисных пленок и выходу на поверхность неокисленных частиц металла;</p> <p>в) большие значения нормальных давлений на контактной поверхности, во многих случаях значительно превышающие величину предела текучести обрабатываемого материала;</p> <p>г) повышенные температуры в очаге деформации (как при горячей так и при холодной ОМД);</p> <p>д) интенсивное окисление поверхности нагретого тела (при горячей ОМД);</p> <p>е) наклеп металла во всей массе деформируемого тела (при холодной ОМД);</p> <p>ё) контактные касательные напряжения пластического трения скольжения не могут превышать значения предела текучести на сдвиг деформируемого металла (иначе скольжение по поверхности тел прекращается и происходит сдвиг внутри деформируемого тела).</p> <p>Эти особенности технологических процессов ОМД оказывают значительное влияние на процессы пластического трения.</p> <p>Увеличение фактической площади касания контактных поверхностей происходит вследствие внедрения неровностей инструмента в поверхность деформируемого металла из-за больших нормальных давлений. При скольжении происходит "пропахивание" поверхности деформируемого металла неровностями поверхности инструмента по всей фактической площади касания, что вызывает большие силы трения, особенно если деформируемый металл упрочняется в процессе деформации .</p>					
					Лис
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					123
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.					
Справ. №					
<p>Обновление контактной поверхности и разрушение окисных пленок приводит в условиях повышенных температур и нормальных давлений в очаге деформации к увеличению вероятности протекания явлений молекулярного схватывания и образования мостиков сварки. Эти последующем скольжении эти мостики разрушаются путем отрыва частиц менее прочного металла от основной массы. Эти процессы также способствуют увеличению сил трения и приводят к налипанию деформируемого металла на инструмент и ухудшению качества поверхности изделий.</p> <p>Трение существенно зависит также от механических свойств окисной пленки деформируемого металла. Если сопротивление сдвигу в слое окислов меньше, чем предел текучести на сдвиг в приконтактном слое деформируемого металла, то это способствует снижению величины сил трения. Если же прочность (твердость) окислов велика, то они могут играть роль абразивной среды, повышая силу трения.</p> <p>При горячей обработке давлением относительно холодная поверхность инструмента соприкасается с нагретым до высоких температур деформируемым металлом. В результате этого взаимодействия происходит остывание верхних слоев заготовки и ее деформация затрудняется, а на поверхности инструмента из-за резкого нагрева происходит образование "разгарных трещин", что приводит к резкому возрастанию износа инструмента.</p> <p>Следует также сказать, что внешнее трение само оказывает большое влияние на характер напряженного состояния и пластического формоизменения при обработке металлов давлением. Известно, что неравномерность деформации при ОМД, характер пластического течения и образования текстур деформации, увеличение общего усилия деформирования, величина предельной степени деформации, возможность получения изделий сложной геометрической формы связаны именно с действием сил внешнего трения.</p>					
Подпись и дата					
Име. № подл.					
<div> <div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div>					<div>Лис</div> <div>124</div>
<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>					

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
<p>Ослабить отрицательное влияние сил внешнего трения на процесс пластического деформирования можно путем применения эффективных технологических смазок. Их действие, как уже указывалось выше, сводится к улучшению условий трения между контактными поверхностями инструмента и деформируемого металла.</p> <p>Исходя из общих закономерностей процессов внешнего трения и особенностей трения в условиях пластической деформации, к технологическим смазкам для процессов ОМД предъявляют следующие функциональные требования:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) снижение сил трения на контактных поверхностях и общего усилия деформирования; 2) уменьшение износа инструмента; 3) предотвращение схватывания, налипания металла заготовки на инструмент; 4) обеспечение заданной чистоты поверхности изделий; 5) охлаждение инструмента; 6) снижение теплопередачи между деформируемым металлом и инструментом; 7) обеспечение более равномерного распределения деформации по объему металла. <p>Помимо функциональных, смазка должна удовлетворять ряду других требований технического, экономического и санитарно-гигиенического характера:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) стабильность состава и свойств; 2) удобство подачи ее на инструмент или заготовку; 3) простота изготовления и возможность регенерации; 4) простота удаления с поверхности изделий; 5) способность накапливаться на поверхности инструмента; 6) отсутствие вредного воздействия на деформируемый металл и оборудование; 					
					Лис
БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					125
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	

Перв. примен.	<p>7) нетоксичность, отсутствие неприятного запаха;</p> <p>8) минимальное загрязнение рабочих мест;</p> <p>9) отсутствие отрицательного воздействия на окружающую среду;</p> <p>10) малая стоимость и недефицитность.</p> <p>Все мероприятия связанные с оптимизацией процесса прессования труб направлены на уменьшение величины пресс остатка, и следовательно увеличение величины выхода годного без потери качества.</p> <p>Этого можно добиться выбором оптимальных параметров прессования, использованием различных конструкций пресс форм, использованием технологических смазок с высокоэффективными физико-химическими свойствами, а также выбор правильного способа их нанесения.</p>					
	Справ. №					
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	Лис	
					126	

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">4 Экономическая часть</h2> <h3 style="text-align: center;">4.1 Техничко-экономическое обоснование проекта</h3> <p>Данное исследование позволит выявить необходимые мероприятия для оптимизации процессов, чтобы уменьшить величину пресс-остатка, в результате чего повысится количество выхода годного.</p>																		
	Справ. №	<h3 style="text-align: center;">4.2 Определение сметной стоимости научно-исследовательской работы</h3> <p>Общую сумму затрат на выполнение конкретной темы или разработки называют сметной стоимостью НИР; ее рассчитывают по следующим калькуляционным статьям расходов:</p> <p>-Затраты на материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.</p> <p>На эту статью относится стоимость всех основных материалов, покупных комплектующих изделий и полуфабрикатов (в том числе на изготовление макетов и опытных образцов), включая расходы на их приобретение, транспортировку и доставку на склады организации.</p> <p>Стоимость вспомогательных материалов относится на эту статью только в том случае, если их расход связан с выполнением данной темы; во всех других случаях она относится на статью «Накладные расходы». Материалы оцениваются по действующим оптовым ценам с обязательным включением всех транспортно-заготовительных расходов, которые в НИИ и КБ составляют от 5 до 10% стоимости материалов и комплектующих изделий. Стоимость материалов уменьшается на стоимость реализуемых отходов.</p>																	
Подпись и дата		Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Име. № подл.	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лис</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div> <p>Лис</p> <p style="font-size: 1.2em;">127</p> </div> </div>					Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат				
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат															

Перв. примен.	<p>Таблица 4.1- Стоимость используемых материалов</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Наименование</th> <th>Сумма затрат, руб</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Слиток АД1</td> <td>50000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Смазка ВТС-63</td> <td>3600</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Смазка СПАТ-1</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Итого</td> <td>57600</td> </tr> </tbody> </table>					Наименование		Сумма затрат, руб	Слиток АД1		50000	Смазка ВТС-63		3600	Смазка СПАТ-1		4000	Итого		57600						
	Наименование		Сумма затрат, руб																							
	Слиток АД1		50000																							
	Смазка ВТС-63		3600																							
	Смазка СПАТ-1		4000																							
Итого		57600																								
Справ. №	<p>-Специальное оборудование для научных и экспериментальных работ.</p> <p>Таблица 4.2 - Перечень оборудования, приборов, аппаратуры, используемых в процессе выполнения НИР</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Наименование</th> <th>Стоимость, руб</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Пресс усилием 1600 т.с.</td> <td>2500000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Компьютер Асер</td> <td>27000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Набор матриц</td> <td>15000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Инструмент для нанесения координатной сетки</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Штангенциркуль электронный</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Итого</td> <td>2545400</td> </tr> </tbody> </table>					Наименование		Стоимость, руб	Пресс усилием 1600 т.с.		2500000	Компьютер Асер		27000	Набор матриц		15000	Инструмент для нанесения координатной сетки		900	Штангенциркуль электронный		2500	Итого		2545400
	Наименование		Стоимость, руб																							
	Пресс усилием 1600 т.с.		2500000																							
	Компьютер Асер		27000																							
	Набор матриц		15000																							
Инструмент для нанесения координатной сетки		900																								
Штангенциркуль электронный		2500																								
Итого		2545400																								
Подпись и дата	<p>- Амортизация оборудования.</p> <p>Для сварочного оборудования коэффициент амортизации составляет 0,05 (5%).</p> <p>Для измерительного оборудования коэффициент амортизации составляет 0,1 (10%).</p>																									
	Инв. № дубл.																									
		Взам. инв. №																								
			Подпись и дата																							
				Инв. № подл.																						
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <table border="1" style="width: 40%;"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;"> <p>Лист</p> <p>128</p> </div> </div>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат																	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат																						

Таблица 4.3 – Затраты на амортизацию оборудования.

Наименование	Стоимость, руб	Норма Амортизации, (1/СПИ)	Амортизация за 1 год	Амортизация за 1 мес.	Остаточная стоимость, руб.
Пресс усилием 1600 т.с.	2500000	0,05	125000	10416,6	2489584
Компьютер Асер	27000	0,2	5400	450	26550
Набор матриц	15000	0,05	750	62,5	14937,5
Инструмент для нанесения координатной сетки	900	0,5	450	37,5	862,5
Штангенциркуль электронный	2500	0,1	250	20,8	2479,2
Итого	2545400		131850	10987,4	2534413,2

- Основная заработная плата исполнителей НИОКР.

Основная заработная плата за один день научного работника, занятого разработкой конструкцией и чертежами, определяется по формуле:

$$L_{oc.1} = (L_{мин.} / 25) \times k; \quad (4.1)$$

где $L_{мин.}$ – средний по отрасли оклад, руб;

k - коэффициент основной заработной платы.

$$L_{oc.1} = (32000 / 25) \times 1,6 = 2048 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата исполнителей НИОКР.

$$L_{д.} = L_{мин.} \times k_{д.з.}; \quad (4.2)$$

где $k_{д.з.}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (0,14-0,15).

$$L_{д.} = 32000 \times 0,15 = 4800 \text{ руб.}$$

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						129

Перв. примен.	Отчисления на социальные нужды.				
	$L_{с.н.}=(L_{мин} +L_{д})\times k_{с.}; \tag{4.3}$				
Справ. №	где $k_{с.}=30\%$.				
	$L_{с.н.}=(32000 + 4800)\cdot 0,3 = 11040 \text{ руб.}$				
Накладные расходы.					
<p>К данной статье относятся расходы на производство, управление и хозяйственное обслуживание, которые в равной степени касаются всех разработок, проводимых в организации (например, расходы на энергию, топливо, амортизационные отчисления от стоимости основных фондов, стоимость вспомогательных материалов, заработная плата аппарата управления, канцелярские расходы и пр.).</p>					
Подпись и дата	Величина накладных расходов определяется как:				
	$S_{к}=L_{ос}\times k_{к.}; \tag{4.4}$				
Инв. № дубл.	где $k_{к.}=0,9$;				
	$S_{к}= 32000\times 0,9= 28800 \text{ руб.}$				
Взам. инв. №	Полученные результаты затрат внесем в таблицу.				
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
<div> <div>Изм.</div> <div>Лис</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дат</div> </div>					<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>
					<div>Лис</div> <div>130</div>

Таблица 4.4 - Смета затрат на проведение НИР

Наименование	Сумма, руб.
1 Затраты на материалы	57600.00
2 Затраты на оплату труда научно технического персонала:	15000,00
2.1 Основная заработная плата	32000,00
2.2 Дополнительная заработная плата	4800,00
2.3 Отчисления на социальные нужды	11040,00
3 Амортизация	10987,40
4 Накладные расходы	28800,00
Итого	160227,40

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

БР - 15. 03. 01 - 071311831 ПЗ

Лис

131

Изм.

Лис

№ докум.

Подпись

Дат

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">ЗАКЛЮЧЕНИЕ</h2> <p>В результате выпускной квалификационной работы было исследовано напряженно-деформированное состояние при прессовании труб прямым методом, а также условия влияющие на процесс прессования.</p> <p>Решены следующие задачи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) приведены схемы напряженного состояния в общем виде, что дало возможность исследования его на практике; 2) приведены схемы деформированного состояния в общем виде, что дало возможность исследования деформации во время прессования; 3) выявлены основные технологические параметры и влияние их на процесс прессования; 4) выведены необходимые мероприятия для уменьшения пресс-остатка, и соответственно увеличению количества выхода годного. 				
Подпись и дата	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инов. № подл.	<div style="text-align: right;">БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div>
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	Лис
					132

Перв. примен.	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ														
Справ. №	<p>В данной работе применены следующие сокращения:</p> <p>АЗ — алюминиевый завод;</p> <p>АО — акционерное общество;</p> <p>ГОСТ — государственный стандарт;</p> <p>ГЭС — гидроэлектростанция;</p> <p>КраМЗ — красноярский металлургический завод;</p> <p>ОАО — открытое акционерное общество;</p> <p>ООО — общество с ограниченной ответственностью;</p> <p>ОСТ — отраслевой стандарт;</p> <p>ОТК — отдел технического контроля;</p> <p>ОМД — обработка металлов давлением</p> <p>ПО — программное обеспечение;</p> <p>СОЖ — смазочно-охлаждающие жидкости;</p> <p>ТСУ — термосдаточный участок;</p> <p>НДС — напряженно-деформированное состояние;</p> <p>НИР — научно-исследовательская работа;</p> <p>НиТД — научная и техническая документация;</p> <p>ISO — международная организация по стандартизации.</p>														
						Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.					
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дат</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат						<div>БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ</div> <div>133</div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат											

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кристаллография: Учебник для вузов. Шаскольская М.П. Изд. 2-е, перераб.и доп.- М.:Высш.шк., 1984-376 с., ил.
2. Механика обработки металлов давлением. Учебник для вузов. Колмогоров В.Л. М.: Металлургия, 1986. 688 с.
3. Механика сплошной среды: методическое пособие/сост. В.И Локтев, Е.В Пономарева, Л.Н Раинкина. АГТУ-Астрахань, 2008-80с.
4. Физические свойства и их описание при помощи тензоров и матриц: учебное пособие. Дж.Най. Изд.2-е, 1967.
5. Ньюнхем Роберт Э.Свойства материалов. Анизотропия, симметрия, структура. - М.- Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», Институт компьютерных исследований, 2007-652 с.
6. М.В. Сторожев, Е.А. Попов. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб.и доп. М., "Машиностроение", 1977.
7. Акивис М.А. - Тензорное исчисление. 1969
8. Васильев Д.М. - Физическая кристаллография. Уч пособие -1981
9. Сидельников, С.Б. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография / С.Б. Сидельников, Н.Н. Довженко, Н.Н. Загиров. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 344 с.
- 10.Грабарник, Л.М. Прессование цветных металлов и сплавов / Л.М. Грабарник, А.А. Нагайцев. – М.: Металлургия, 1991. – 342 с.
- 11.Щерба, В.Н. Прессование алюминиевых сплавов Щерба/ В.Н. – М.:«Интермет Инжиниринг», 2001. – 768 с.
- 12.Шевакин, Ю.Ф. Прессование тяжелых цветных металлов и сплавов / Ю.Ф. Шевакин, Л.М. Грабарник, А.А. Нагайцев. – М.: Металлургия, 1987. – 264 с.

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Лис

134

Перв. примен.	13.Зиновьев, А.В. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов / А.В. Зиновьев, А.И. Колпашников, П.И. Полу-хин и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.																																	
	14.Манегин, Ю.В. Горячее прессование труб и профилей / Ю.В. Мане-гин, А.Е. Притоманов, Т. Шпиттель и др. – М.: Металлургия, 1980. – 272 с.																																	
Справ. №	15.Ерманок, М.З. Прессование профилей из алюминиевых сплавов / М.З. Ерманок, В.И. Фейгин, Н.А. Сухоруков. – М.: Металлургия, 1977. – 264с.																																	
	16.Ерманок, М.З. Прессование труб из алюминиевых сплавов / М.З. Ер-манок, Л.С. Каган, М.Ф. Головинов. – М.: Металлургия, 1976. – 248 с.																																	
	17.Ерманок М.З. Прессование панелей из алюминиевых сплавов. – М.:Металлургия, 1974. – 231 с.																																	
	18.Ерманок, М.З. Прессование титановых сплавов / М.З. Ерманок,Ю.П. Соболев, А.А. Гельман. – М.: Металлургия, 1979. – 264 с.																																	
	19.Перлин, И.Л. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин, Л.Х.Райтбарг. – М.: Металлургия, 1975. – 563с.																																	
	20.Северденко, В.П. Обработка давлением гранул алюминиевых сплавов / В.П. Северденко, Н.В. Шепельский, В.З. Жилкин. – М.: Металлургия, 1975. – 168 с.																																	
Подпись и дата	21.Богоявленский, К.Н. Обработка цветных металлов и сплавов давлением / К.Н. Богоявленский, В.В. Жолобов, А.Д. Ландихов и др. – М.: Металлургия, 1973. – 471 с.																																	
Инв. № дубл.	22.Жолобов, В.В. Прессование металлов / В.В. Жолобов, Г.И. Зверев. –М.: Металлургия, 1971. – 456 с.																																	
Взам. инв. №	23.Довженко, Н.Н. Система автоматизированного проектирования технологии прессования металлов. Научно-методическое обеспечение: Монография / Н.Н. Довженко, С.Б. Сидельников, Г.И. Васина.– Красноярск: ГАЦМиЗ, 2000. – 196 с.																																	
Подпись и дата																																		
Инв. № подл.																																		
Изм.					Лис					№ докум.					Подпись					Дат					БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					Лис				
																														135				

Справ. №	Перв. примен.	<p>24.Сидельников С.Б. Элементы расчетов процессов обработки метал-лов давлением: Учебное пособие.– Красноярск: ГАЦМиЗ, 1999. – 92 с.</p> <p>25.Довженко, Н.Н. Расчет технологических параметров процесса прес-сования: Метод. указания к практическим занятиям по курсу «Технология прессования» для студентов специальности 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Н.Н. Довженко, Н.А. Барков, С.В. Беляев и др.– Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. – 32 с.</p> <p>26.Райтбарг Л.Х. Производство прессованных профилей. – М.: Металлургия, 1984. – 246 с.</p> <p>27.Третьяков А.В., Трофимов Г.К., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1974. – 272 с.</p> <p>28.Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник. – М.: Металлургия, 1983. –352 с.</p> <p>29.Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. –М.: Машгиз, 1978. – 368 с.</p> <p>30.Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т.Трение и смазки</p> <p>31.при обработке металлов давлением. Справ.изд.~М.: Металлургия, 1982. -312с.</p> <p>32.Крагельский И.В. Трение и износ.-М.: Машиностроение, 1968. - 480с.</p> <p>33.Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел.М.: Машиностроение,1968.-542с.</p> <p>34.Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения.М.: Физматгиз, 1963.-472с.</p> <p>35.Дерягин Б.В. Что такое трение.-М., Изд-во АН СССР,1952. 244с.</p> <p>36.Лихтман В.И., Щукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов.-М.: Изд-во АН СССР,1962. - 304с.</p> <p>37.Вейлер С.Я., Лихтман В.И. Действие смазок при обработке металлов давлением.-М.: Изд-во АН СССР,1960.-232с.</p>				
Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	Лис	
					136	

Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>38.Петров Н.П. Гидродинамическая теория смазки-М.:Изд-во АН СССР,1948.-552с.</p> <p>39.Исаченков Е.И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением.-М.:Машиностроение,1978.-208с</p>				
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ					Лис	
										137	

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Плакаты

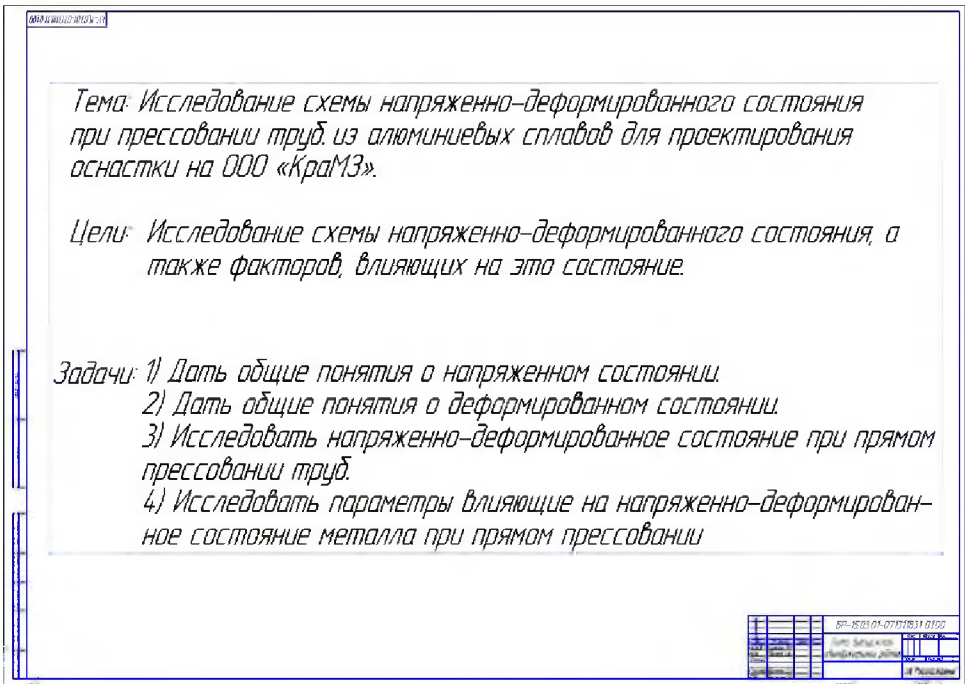


Рисунок А.1 — Плакат № 1 «Тема выпускной квалификационной работы»

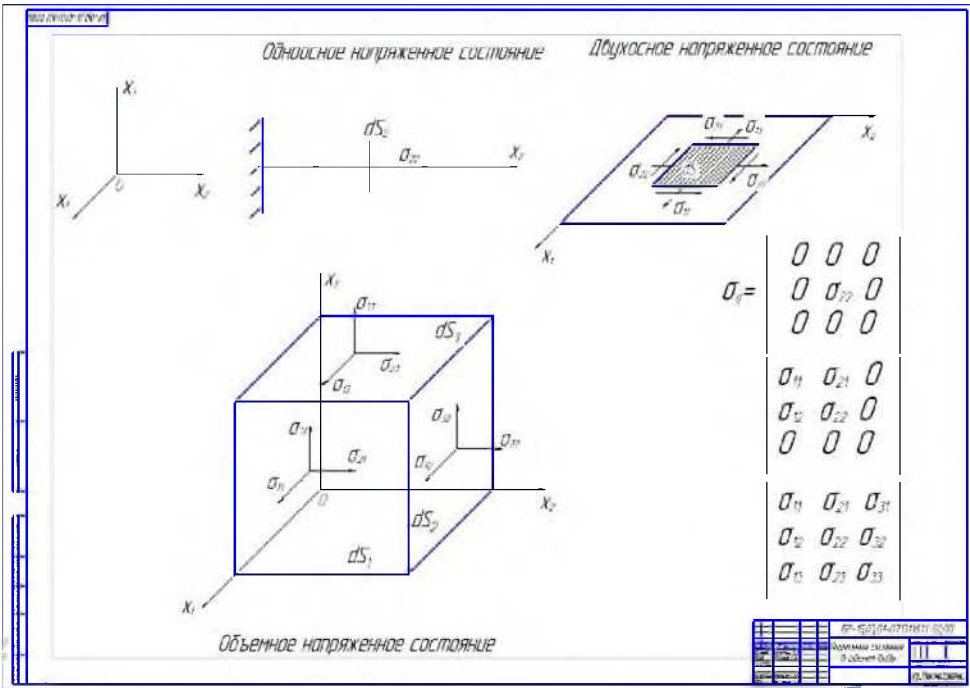


Рисунок А.2 — Плакат № 2 «Напряженное состояние в общем виде»

Пере. примен.	
Справ. №	

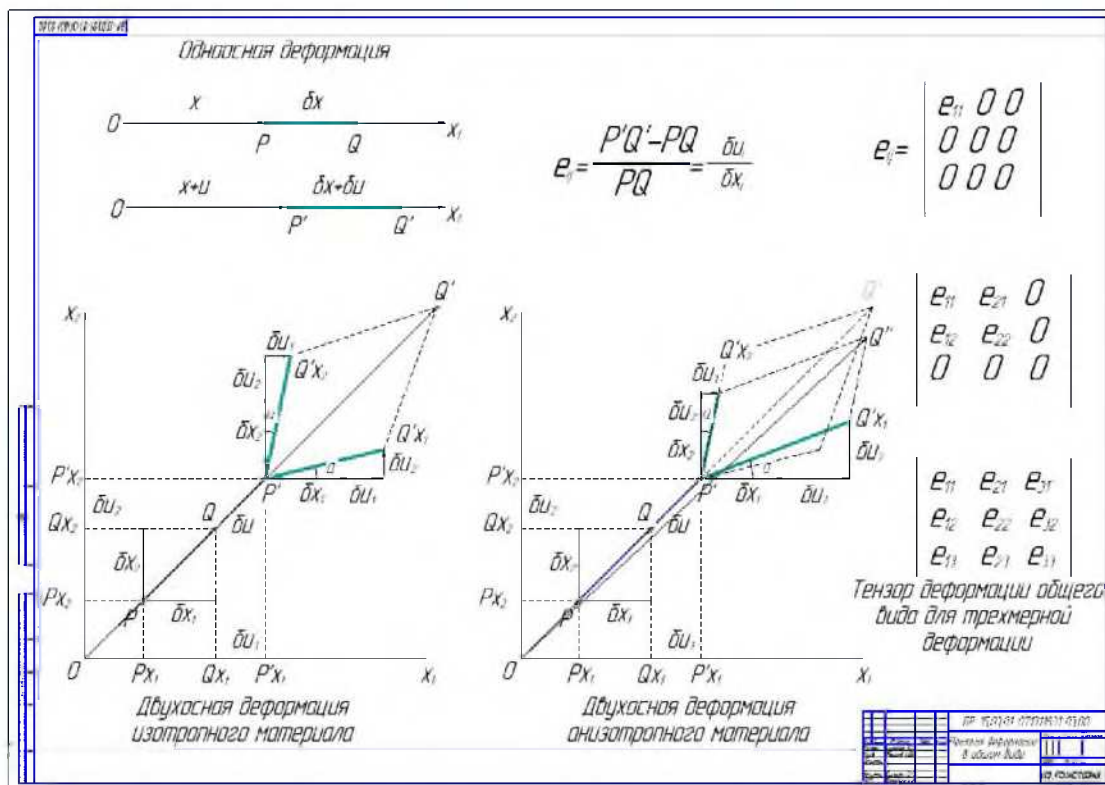


Рисунок А.3 — Плакат № 3 «Понятие деформации в общем виде»

Подпись и дата	
Изн. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Изн. № подл.	

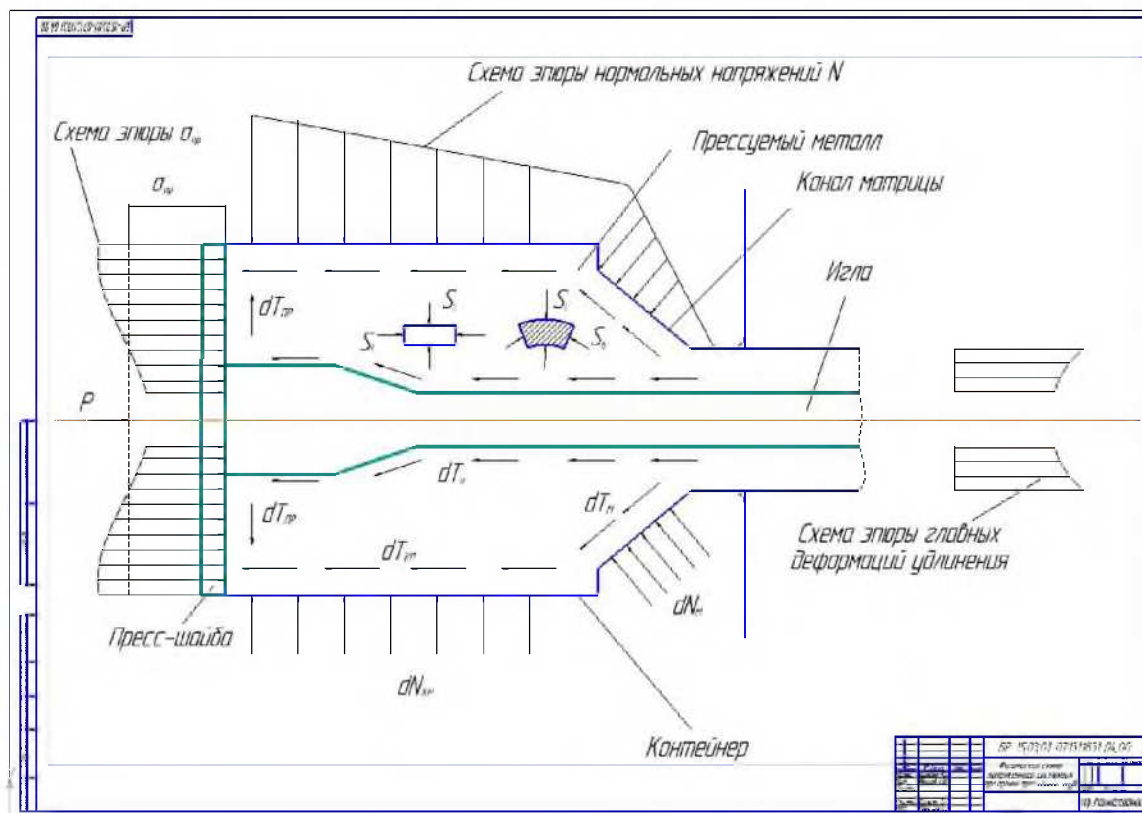


Рисунок А.4 — Плакат № 4 «Физическая схема напряженного состояния»

Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат
------	-----	----------	---------	-----

БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ

Перв. примен.

Справ. №

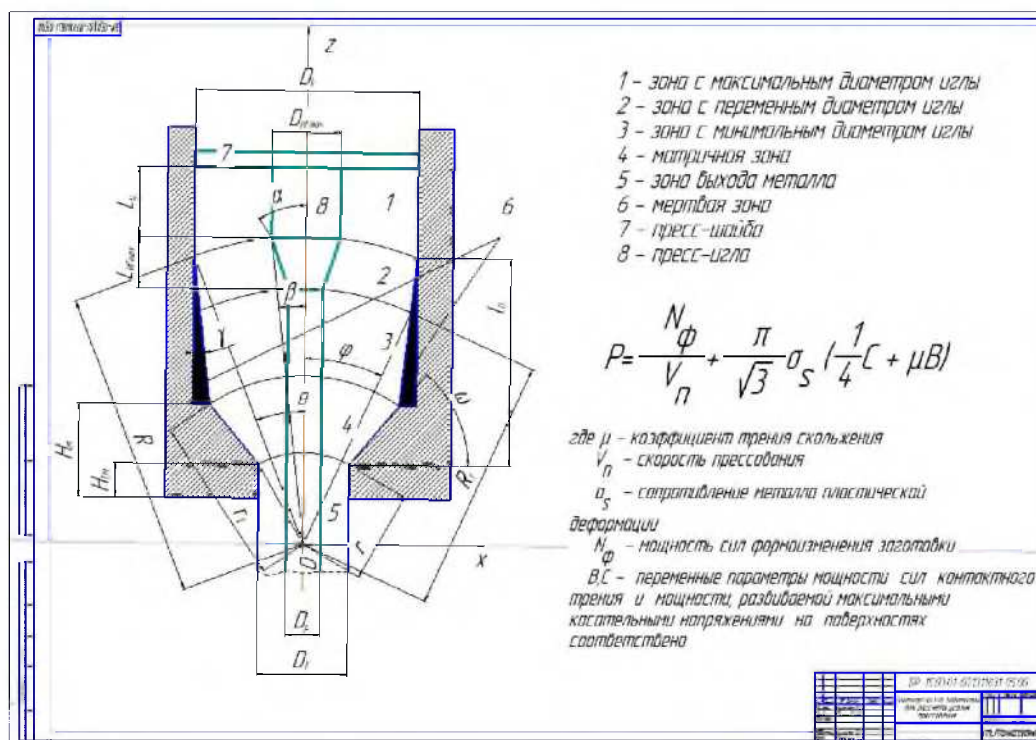


Рисунок А.5 — Плакат № 5 «Геометрические параметры»

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

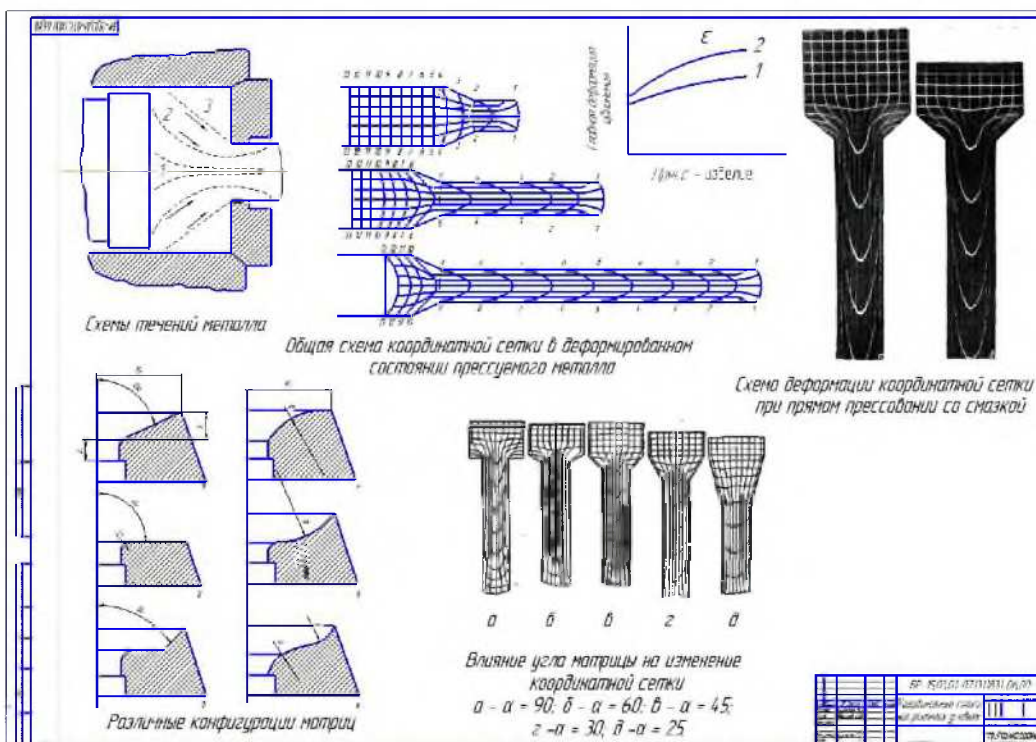




Рисунок А.6 — Плакат № 6 «Координатные сетки при различных условиях»

Име. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		Справ. №		Перв. примен.	



Наименование	Сумма руб.
Затраты на материалы	57600
Затраты на оплату труда научно-технического персонала	15000
Основная заработная плата	32000
Дополнительная заработная плата	4800
Отчисления на социальные нужды	11040
Амортизация	10987
Накладные расходы	28800
Итого	160227

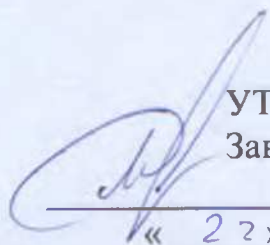


Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат	БР - 15. 03. 01 – 071311831 ПЗ	Лис
						141

Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		Справ. №		Перв. примен.	
Изм.													
Лист													
№ докум.													
Подпись													
Дат													
БР - 15. 03. 01 - 071311831 ПЗ													
142	Лист												

Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		Справ. №		Перв. примен.	
Изм.													
Лист													
№ докум.													
Подпись													
Дат													
БР - 15. 03. 01 - 071311831 ПЗ													
143	Лист												

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Машиностроение»

 УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.И. Демченко
« 22 » 06 2017 г.

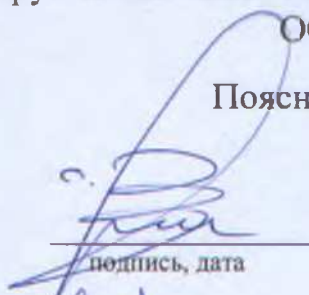
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.01. - «Машиностроение»

Исследование схемы напряженно-деформированного состояния при
прессовании труб из алюминиевых сплавов для проектирования оснастки на
ООО «КраМЗ»

Пояснительная записка

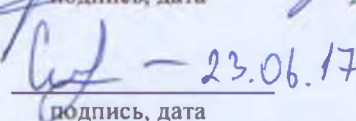
Руководитель


подпись, дата

доцент К.Т.И.
должность, ученая степень

С.В. Мишнев
инициалы, фамилия

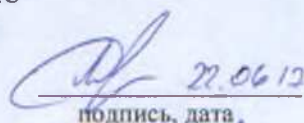
Выпускник


подпись, дата

П.А. Силютин
инициалы, фамилия

Консультант:

Организационно-
экономический
раздел


подпись, дата

К.Т.И. доцент
должность, ученая степень

А.И. Демченко
инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата

ст. преподаватель
должность, ученая степень

С.Л. Бусыгин
инициалы, фамилия

Красноярск 2017